



Catarina Revés Lança Fernandes

Licenciada em Engenharia Geológica

**Estudo geomecânico de estabilidade de arribas
em contexto da avaliação de risco do troço litoral
Porto Covo - Zambujeira e de Sesimbra**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Geológica

Orientador: Paulo do Carmo de Sá Caetano, Prof Auxiliar,
FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Pedro Calé da Cunha Lamas

Arguente: Prof. Doutora Maria da Graça Azevedo Brito

Vogal: Prof. Doutor Paulo do Carmo de Sá Caetano



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

2016

Catarina Revés Lança Fernandes

Licenciada em Engenharia Geológica

**Estudo geomecânico de estabilidade de arribas em
contexto da avaliação de risco do troço litoral Porto
Covo - Zambujeira e de Sesimbra**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Geológica

Orientador: Paulo do Carmo de Sá Caetano, Prof Auxiliar, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Pedro Calé da Cunha Lamas

Arguente: Prof^a. Doutora Maria da Graça Azevedo Brito

Vogal: Prof. Doutor Paulo do Carmo de Sá Caetano

2016

Estudo geomecânico de estabilidade de arribas em contexto da avaliação de risco do troço litoral Porto Covo - Zambujeira e de Sesimbra

Copyright@ Catarina Revés Lança Fernandes, 2016

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou em forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Ao longo deste caminho percorrido foi fundamental todo o apoio e amizade recebidos, merecendo da minha parte um especial agradecimento e gratidão.

As minhas primeiras palavras são destinadas ao Professor Doutor Paulo Sá Caetano a quem gostaria de começar por agradecer a proposta do tema e orientação da tese, e pela confiança que depositou em mim e neste projeto desde o seu começo. Quero agradecer todos os seus contributos ao longo da minha formação, a pertinência de todas as suas sugestões, o incentivo e motivação demonstrados, assim como os diálogos que contribuíram para a reflexão apresentada na tese.

Gostaria também de agradecer o importante apoio e disponibilidade do meu colega João Brissos numa primeira fase do projeto, destacando o seu empenho e dedicação.

Ao centro de investigação Geobiotec por proporcionar o acesso a dados sobre as zonas em estudo fundamentais ao desenvolvimento do trabalho, e empenhado na elevação destas áreas do conhecimento.

À Filomena Pacheco expresso a minha gratidão, pelo seu importante apoio e por todas as suas ideias que ajudaram ao enriquecimento deste trabalho. Um especial agradecimento pela sua disponibilidade ao longo desta etapa, pelas suas palavras e contínuos incentivos.

Ao nível do meu círculo pessoal, quero agradecer à minha família, particularmente à Alice pela paciência e apoio durante a realização deste trabalho e ao longo de todo o meu percurso.

Um obrigado especial aos meus pais que, apesar de distantes fisicamente, estiveram e estão sempre presentes, salientando o seu exemplo pessoal e profissional ao longo da minha vida, que ajudou a construir a minha identidade como pessoa. Agradeço o apoio incondicional e todo o esforço ao longo deste caminho.

À minha avó Natividade porque sempre acreditou em mim. Ao meu avô Manuel, e aos meus avós Justina e António para os quais este momento seria de enorme orgulho.

Ao Diogo, agradeço a paciência, a companhia e o carinho e, ainda, a compreensão sem limites. Agradeço todo o apoio e motivação, e por nunca me deixar desistir.

Às minhas amigas de longa data, agradeço a amizade e cumplicidade ao longo destes anos, os momentos de apoio, conforto e incentivo.

Finalmente, agradeço aos meus colegas em especial à Mariana Pinto, Soraia Botelho, Rita Ferreira, Ana Luísa Ramada, Yucânia da Cruz, David Silva, João Ferreira e João Miranda, que contribuíram para levar a bom porto esta “viagem”, agradeço o espírito de companheirismo e entreajuda ao longo destes últimos anos. Agradeço da forma que o poeta Miguel Torga tão bem sintetiza no poema *Viagem*:

(...)

Prestes, larguei a vela
E disse adeus ao cais, à paz tolhida.
(...)

Mas corto as ondas sem desanimar.
Em qualquer aventura,
O que importa é partir, não é chegar.

Falo da natureza.
E nas minhas palavras vou sentindo
A dureza das pedras,
A frescura das fontes,
O perfume das flores.
Digo, e tenho na voz
O mistério das coisas nomeadas.
Nem preciso de as ver.
Tanto as olhei,
Interroguei,
Analisei
E referi, outrora,
Que nos próprios sinais com que as marquei
As reconheço, agora.

Miguel Torga, Diário X (1968)

RESUMO

A presente dissertação tem como propósito efetuar um estudo geomecânico detalhado quanto à estabilidade das arribas inseridas na Praia da Califórnia, em Sesimbra, e no sector que abrange a faixa litoral desde Porto Covo até à Zambujeira do Mar, no Sudoeste Alentejano. O interesse no estudo surge no seguimento de inúmeros trabalhos efetuados desde 2009, onde foram reconhecidas diversas situações de risco de instabilidade nas arribas destas praias.

O crescimento populacional que se tem vindo a verificar nas zonas costeiras impõe a necessidade de uma correta avaliação do risco associado à instabilidade de arribas acompanhado, naturalmente, de um estudo de caracterização geotécnica e de estabilidade de grande pormenor. Neste sentido, um elevado conjunto de dados de caracterização geotécnica, recolhido em estudos anteriores, foi utilizado para elaboração de um zonamento geotécnico baseado nos sistemas de classificação de maciços rochosos BGD e GSI. Em complemento a esta avaliação, uma análise das condições de estabilidade quanto aos mecanismos de rotura planar, por cunha e tombamento permitiu, em conjunto com o zonamento geotécnico, estabelecer um zonamento geomecânico com o objetivo de avaliar e prever o comportamento dos materiais em cada zona das arribas estudadas. Posteriormente, identificadas as zonas de maior instabilidade, recorreu-se ao uso do *software RockPath* que possibilitou a obtenção de uma previsão mais clara e precisa quanto à possibilidade de ocorrência de determinados movimentos e das respetivas trajetórias de queda. Esta abordagem detalhada contribui para uma melhor definição do risco associado à queda de blocos em arribas e para a proposta de medidas concretas de mitigação.

Palavras-chave: zonas costeiras; arribas instáveis; avaliação do risco; zonamento geotécnico e geomecânico.

ABSTRACT

The present dissertation provides a detailed geomechanical study to the stability of the cliffs at Praia da Califórnia, Sesimbra, and along the coastal section from Porto Covo to Zambujeira do Mar, southwest Alentejo. Interest in the study results from other works since 2009 where evidence of instability risk were recognised in the cliffs above mentioned.

The increase of population in coastal areas urges the assessment of the risks associated to cliff instability, accompanied by detailed geotechnical characterization and stability studies. To achieve this goal, data collected from previous studies was used to establish a geotechnical zonation based on the BGD and GSI rock mass classification systems. In paralel to these descriptions, an analysis of the stability conditions to mechanisms of planar, wedge and toppling failure, allowed along with the geotechnical zonation to establish a geomechanical zonination with the purpose of evaluating and forecasting the materials response at each of the studied cliffs. After identifying instability areas using the *RockPath software* makes clearer and more precise the forecast of the occurence of certain movements and the correspondent rock fall paths and run out distances. This detailed approach achieves an improved risk analysis of the cliffs movements and allows the establishment of more efficient and efective mitigation measures.

Key-words: costal areas; unstable cliffs; risk analysis: geotechnical and geomechanical zonation

ÍNDICE DE MATÉRIAS

| | | |
|----------|--|-----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | Enquadramento do tema | 1 |
| 1.2 | Âmbito e Objetivos | 2 |
| 1.3 | Estrutura e Metodologia da dissertação | 2 |
| 1.3.1 | Estrutura | 2 |
| 1.3.2 | Metodologia | 3 |
| 1.4 | Revisão Bibliográfica | 4 |
| 2 | ARRIBAS ROCHOSAS EM CONTEXTO DE ANÁLISE DE RISCO | 11 |
| 2.1 | Evolução geomorfológica das arribas rochosas litorais | 11 |
| 2.2 | Movimentos de terreno e respetivos mecanismos | 13 |
| 2.3 | Principais agentes e causas | 18 |
| 3 | CONTEXTUALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO | 21 |
| 3.1 | Localização Geográfica | 22 |
| 3.1.1 | Sesimbra | 22 |
| 3.1.2 | Alentejo Litoral | 23 |
| 3.2 | Enquadramento Geomorfológico | 25 |
| 3.3 | Enquadramento Geológico e Geotectónico | 26 |
| 3.3.1 | Litoral Alentejano | 26 |
| 3.3.2 | Península de Setúbal – Sesimbra | 28 |
| 3.4 | Enquadramento Hidrológico e Climatológico | 30 |
| 4 | AVALIAÇÃO GEOTÉCNICA PORMENORIZADA E DE RISCO NAS PRAIAS SELECIONADAS | 35 |
| 4.1 | Sesimbra – Praia da Califórnia | 42 |
| 4.2 | Costa Alentejana | 58 |
| 4.2.1 | Praia do Serro da Águia | 58 |
| 4.2.2 | Praia Grande | 76 |
| 4.2.3 | Praia dos Buizinhos | 95 |
| 4.2.4 | Praia das Furnas | 116 |
| 4.2.5 | Praia da Zambujeira do Mar | 141 |
| 5 | PREVISÃO DE TRAJECTÓRIAS DE QUEDA DE BLOCOS NAS PRAIAS URBANAS DE SESIMBRA E ZAMBUJEIRA DO MAR COM RECURSO AO SOFTWARE ROCKPATH | 143 |
| 6 | PROPOSTAS DE SOLUÇÕES DE ENGENHARIA PARA TRABALHOS DE ESTABILIZAÇÃO DAS ARRIBAS | 149 |
| 7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 153 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 8 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 155 |
|----------|--|------------|

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 - Fluxograma sobre as principais etapas da metodologia adotada para o presente estudo..... | 4 |
| Figura 1.2 - Modelo conceitual do risco natural..... | 7 |
| Figura 2.1 - Elementos geomorfológicos de uma arriba costeira..... | 11 |
| Figura 2.2 - Arriba costeira alcantilada. O topo até ao rebordo superior deve ter, sempre que possível, um mínimo de 25 metros (1). A faixa de proteção superior deve ter um mínimo de 50 metros (2). A faixa de proteção inferior tem a largura mínima de 15 metros (3), na ausência de outros valores de referência (STCNREN, 2009)..... | 12 |
| Figura 2.3 - Processo simplificado da evolução das arribas litorais..... | 13 |
| Figura 2.4 - Representação da classificação da tipologia de movimentos, proposta por Varnes (1978). | 15 |
| Figura 3.1 - Enquadramento dos municípios de Sesimbra, Sines e Odemira e respetivas áreas de estudo..... | 22 |
| Figura 3.2 - Enquadramento do município de Sesimbra, e carta militar 1:50 000 Setúbal, 38-1 Setúbal | 23 |
| Figura 3.3 - Localização geográfica nacional da sub-região do Alentejo, Alentejo Litoral..... | 23 |
| Figura 3.4 - Localização das áreas de estudo na sub-região do Alentejo Litoral (à esquerda a vermelho) e respetivas cartas militares 1:50 000 Setúbal, 45-3 Cercal e Beja, 45-3 Odemira..... | 24 |
| Figura 3.5 - Enquadramento da Península de Setúbal..... | 26 |
| Figura 3.6 - Geologia das áreas de estudo, pertencentes ao litoral Alentejano (adaptado de Carta Geológica de Portugal, folha sul, escala 1:500 000 Serviços Geológicos de Portugal, 1992)..... | 27 |
| Figura 3.7 - Excerto da Carta Geológica de Portugal, Folha 38-B (Setúbal (IGM, 1994) à escala 1:50.000 | 29 |
| Figura 3.8 - Corte geológico da "depressão de Sesimbra". Excerto do perfil A-B/C-D da Carta Geológica de Portugal, Folha 38-B (Setúbal) (IGM, 1994) à escala 1:50.000.... | 29 |
| Figura 3.9 - Localização de antiga zona de exploração de gesso na Praia da Califórnia, Sesimbra | 30 |
| Figura 3.10 - Enseada de Sesimbra. A- excerto da Carta Militar de Portugal nº 464, à escala original 1:25.000 (IGE, 1994), reduzida para 1:50.000..... | 34 |
| Figura 4.1 - Mapa da Vila de Sesimbra na zona da Praia da Califórnia | 42 |
| Figura 4.2 - Visualização da Praia da Califórnia segundo áreas geológico-geotécnicas | 43 |
| Figura 4.3 - Vista panorâmica da área definida como 1, Praia da Califórnia | 43 |
| Figura 4.4 - Afloramento localizado a Norte da Praia da Califórnia | 44 |
| Figura 4.5 - Visualização da classificação segundo a BGD para a área 1..... | 45 |
| Figura 4.6 - Filão dolerítico situado a poente (afetado por falha inversa) seguido de um afloramento de arenito ferruginizado, zona I | 46 |
| Figura 4.7 - Afloramento arenito grosseiro amarelado pertencente à zona definida como II..... | 46 |
| Figura 4.8 - Comparação entre o maciço rochoso na área 1 com a estrutura referente à classe F, definida por Marinos & Hoek, (2001)..... | 47 |
| Figura 4.9 - Panorâmica referente à área 2, Praia da Califórnia | 47 |
| Figura 4.10 - Evidência de escorregamentos rotacionais e figuras de erosão, sem fracturação presente, maciço terroso – área 2..... | 48 |
| Figura 4.11 - Talude abrupto no topo da arriba da área 2 | 48 |
| Figura 4.12 – Crista dolomítica e do sistema de fracturação do maciço..... | 49 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.13 - Visualização da classificação segundo a BGD para a área 2..... | 49 |
| Figura 4.14 - Comparação entre o maciço rochoso do talude abrupto da área 2, com a estrutura referente à classe D, definida por Marinós & Hoek, (2001) | 51 |
| Figura 4.15 - Zonamento geomecânico para a Praia da Califórnia (vista para Norte) . | 51 |
| Figura 4.16 - Progressão da instabilidade quanto a possíveis escorregamentos planares entre 2010 (à esq.) e 2015 (à dir.) | 51 |
| Figura 4.17 – Situação potencial para tombamento de bancadas fraturadas de dolomito sem suporte basal | 52 |
| Figura 4.18 - Bloco de grande dimensão possivelmente proveniente da crista dolomítica | 52 |
| Figura 4.19 - Concha de Sesimbra nas décadas de 60 (à esq.) e 70 (à dir.)..... | 52 |
| Figura 4.20 - Possível situação instabilizadora na área 1 | 53 |
| Figura 4.21 - Blocos de proteção na base do talude, na área 2 | 54 |
| Figura 4.22 - Visualização da área 2 e do bloco de grandes dimensões na base do talude..... | 54 |
| Figura 4.23 - Plataforma com coberto vegetal entre a crista dolomítica e a base do talude..... | 55 |
| Figura 4.24 - Praia do Serro da Águia, freguesia de Porto Covo..... | 58 |
| Figura 4.25 - Vista panorâmica da Praia do Serro da Águia..... | 58 |
| Figura 4.26 - Vista aérea da Praia do Serro da Águia e localização aproximada das estações (scanlines). | 59 |
| Figura 4.27 - Fenda na crista da arriba N..... | 59 |
| Figura 4.28 - Sulco observado na zona da crista, arriba Norte..... | 60 |
| Figura 4.29 - Blocos em evidência, inflexão arriba E e S | 60 |
| Figura 4.30 - Desníveis ao longo da crista | 60 |
| Figura 4.31 - Panorâmica da arriba Norte, e localização das estações N1 e N2 | 61 |
| Figura 4.32 - Pormenor da estação N1 | 61 |
| Figura 4.33 - Pormenor da estação N2 | 62 |
| Figura 4.34 - Panorâmica da arriba Norte para efeitos de classificação conforme a BGD..... | 63 |
| Figura 4.35 – Comparação entre o maciço rochoso na arriba N com a estrutura referente à classe F, definida por Marinós & Hoek, (2001) | 65 |
| Figura 4.36 - Vista da arriba Este, a partir da zona Sul da praia | 65 |
| Figura 4.37 - Ponto de água na arriba E | 65 |
| Figura 4.38 – Panorâmica da arriba S, e localização da estação S1..... | 65 |
| Figura 4.39 – Individualização das zonas definidas por aplicação da BGD, na arriba Sul | 65 |
| Figura 4.40 - Comparação entre o maciço rochoso na arriba S com a estrutura referente à classe H, definida por Marinós & Hoek, (2001) | 68 |
| Figura 4.41 - Escadaria de acesso à praia, arriba E | 69 |
| Figura 4.42 - Local de possível ocorrência de deslizamentos planares e de cunha, na arriba N..... | 69 |
| Figura 4.43 -Possibilidade para tombamentos | 70 |
| Figura 4.44 - Escorregamento planar de grande volume na arriba Sul da praia do Serro da Águia (Julho de 2010 e Agosto de 2015) | 70 |
| Figura 4.45 - Leixão situado a W , no sentido do mar , arriba Sul (Agosto de 2015) .. | 70 |
| Figura 4.46 - Localização da instabilização por tombamento durante a baixa-mar, vista da arriba N (à esq.) e durante a preia-mar, vista da arriba contrária (à dir.) | 72 |
| Figura 4.47 - Potencial situação de tombamento de alguns blocos destacados por fendas..... | 72 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.48 – Ocupação da base das arribas como local eleito pelos veraneantes, na Praia do Serro da Águia..... | 73 |
| Figura 4.49 - Leixão situado na arriba Sul, parcialmente coberto em Agosto de 2015 (à dir.) | 73 |
| Figura 4.50 - Pressão exercida sobre o topo da arriba..... | 73 |
| Figura 4.51 - Serviços e infraestruturas da Praia Grande, Porto Covo | 76 |
| Figura 4.52 - Vista Sul, Praia Grande | 76 |
| Figura 4.53 - Praia Grande, Porto Covo..... | 77 |
| Figura 4.54 - Vista aérea da Praia Grande e localização aproximada das estações (scanlines) | 77 |
| Figura 4.55 - Blocos destacados na zona da crista da arriba E..... | 78 |
| Figura 4.56 - Desnível na crista da arriba Norte | 78 |
| Figura 4.57 - Panorâmica da arriba Norte, e localização das estações N1 e N2 | 78 |
| Figura 4.58 - Pormenor da estação N1 | 79 |
| Figura 4.59 – Fraturas preenchidas por quartzo | 79 |
| Figura 4.60 - Localização da estação N2, na arriba N..... | 79 |
| Figura 4.61 - Panorâmica da arriba Norte para efeitos de classificação conforme a BGD..... | 81 |
| Figura 4.62 - Comparação entre o maciço rochoso na arriba N com a estrutura referente à classe F, definida por Marinós & Hoek, (2001) | 83 |
| Figura 4.63 - Panorâmica da arriba E, e localização da estação E1 | 83 |
| Figura 4.64 - Pormenor da estação E1 | 83 |
| Figura 4.65 - Panorâmica da arriba S, e localização da estação S1 e S2 | 84 |
| Figura 4.66 - Preenchimento de fraturas na arriba Sul por quartzo | 83 |
| Figura 4.67 - Pormenor da estação S1 | 84 |
| Figura 4.68 - Pormenor da estação S2 | 84 |
| Figura 4.69 – Panorâmica da arriba Sul para efeitos de classificação segundo a BGD | 84 |
| Figura 4.70 - Comparação entre o maciço rochoso na arriba S com a estrutura referente à classe D, definida por Marinós & Hoek, (2001) | 87 |
| Figura 4.71 - Ocorrências de potenciais tombamentos no trecho a W da arriba N..... | 88 |
| Figura 4.72 - Possibilidade para escorregamento planar, arriba N..... | 88 |
| Figura 4.73 - Superfícies de estratificação a inclinar para o interior do maciço, na arriba Sul | 89 |
| Figura 4.74 - Presença de sinforma, na arriba Norte..... | 90 |
| Figura 4.75 - Eventuais situações de perigosidade localizadas na arriba Este, sobre o café/bar..... | 91 |
| Figura 4.76 - Cobertura vegetal ao longo das arribas da Praia Grande | 91 |
| Figura 4.77 - Escadaria mais recente, no arriba Sul..... | 92 |
| Figura 4.78 – Caminho de acesso à praia, a W, que se encontra no lado sul da praia..... | 92 |
| Figura 4.79 – Vista SW da Praia dos Buizinhos durante a preia-mar | 92 |
| Figura 4.80 - Praia dos Buizinhos vista segundo a arriba N. | 95 |
| Figura 4.81 - Vista aérea da Praia dos Buizinhos e localização aproximada das estações (scanlines) | 96 |
| Figura 4.82 - Sulco observado perto da zona de acesso às escadas, resultado de escorrência superficial (Outubro de 2014) | 97 |
| Figura 4.83 - Desnível na crista na zona central da praia. | 97 |
| Figura 4.84 - Limite Sul da crista com evidências de destacamento de alguns blocos | 97 |
| Figura 4.85 - Panorâmica de parte da arriba Norte (até às escadarias de acesso) incluindo a localização das scanlines efetuadas | 97 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4.86 - Panorâmica da restante arriba N, com a scanline nº4, abrangendo igualmente a arriba E (com um desnível considerável comparativamente à arriba N e S)..... | 97 |
| Figura 4.87 - Registo da scanline na estação N1 | 97 |
| Figura 4.88 – Registo da scanline na estação N2 | 97 |
| Figura 4.89 – Registo da estação 3 | 97 |
| Figura 4.90 – Pormenor do filão de vulcanitos ácidos | 97 |
| Figura 4.91 - Registo da scanline na estação N4..... | 100 |
| Figura 4.92 – Individualização das zonas definidas por aplicação da BGD, na arriba N..... | 100 |
| Figura 4.93 – Individualização das zonas definidas por aplicação da BGD, na arriba N compreendendo a arriba E | 100 |
| Figura 4.94 – Comparação entre o maciço rochoso da arriba N com a estrutura referente à classe F, definida por Marinós & Hoek, (2001) | 100 |
| Figura 4.95 – Desnível na arriba E (visto segundo Sul) | 100 |
| Figura 4.96 – Pormenor da arriba E..... | 100 |
| Figura 4.97 – Panorâmica da arriba Sul..... | 100 |
| Figura 4.98 – Blocos instabilizados na base da Arriba Sul (Outubro de 2014 à esquerda, e Agosto de 2015 à direita) | 100 |
| Figura 4.99 – Registo da scanline na estação S1. | 100 |
| Figura 4.100 - Panorâmica da Arriba Sul para efeitos de classificação conforme a BGD | 107 |
| Figura 4.101 - Comparação entre o maciço rochoso na arriba S com a estrutura referente à classe F, definida por Marinós & Hoek, (2001)..... | 109 |
| Figura 4.102 - Bloco sem sustentação basal destacado por fraturas subverticais subparalelas e perpendiculares à arriba | 109 |
| Figura 4.103 - Zona de comunicação entre o areal e o topo da arriba | 111 |
| Figura 4.104 - Sulco/Fissura observado perto da zona de acesso às escadas, resultado de escorrência superficial (Agosto de 2015 em baixo) comparação com o mesmo sulco observado em Outubro de 2014 (em cima) | 111 |
| Figura 4.105 - Bloco apoiado perto da arriba Norte na praia dos Buizinhas | 113 |
| Figura 4.106 Perspetiva da Praia das Furnas, Agosto de 2015. | 116 |
| Figura 4.107 - Linha de costa a Sul do estuário do rio Mira. Arriba fóssil da Praia das Furnas, precedida do sistema praia-duna (Nemus, 2015)..... | 116 |
| Figura 4.108 - Divisão geral da Praia das Furnas em locais | 117 |
| Figura 4.109 - Panorâmica da arriba junto ao parque de estacionamento com a localização da estação S1. | 117 |
| Figura 4.110 - Localização mais pormenorizada da scanline S1..... | 118 |
| Figura 4.111 - Vista de pormenor dos dobramentos em chévron localizados na arriba em estudo (NE)..... | 118 |
| Figura 4.112 - Variação da espessura das camadas na arriba e cobertura de material instabilizado na base da arriba. | 118 |
| Figura 4.113 - Visualização da classificação segundo a BGD para o local 1 | 119 |
| Figura 4.114 – Comparação entre o maciço rochoso no local 1 com a estrutura referente à classe F, definida por Marinós & Hoek, (2001) | 122 |
| Figura 4.115 - Panorâmica da arriba W e respetiva localização da scanline S2..... | 123 |
| Figura 4.116 - Exemplo de subescavação na arriba correspondente ao local 2..... | 123 |
| Figura 4.117 - Localização pormenorizada da scanline S2. | 124 |
| Figura 4.118 - Visualização da classificação segundo a BGD para o local 2 | 124 |
| Figura 4.119 - Pormenor da zona de separação entre as zonas definidas pela BGD para o local 3 | 125 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.120- Visualização do início do local 2 | 126 |
| Figura 4.121 - Cobertura de materiais na base, local 2, zona I ₃ | 126 |
| Figura 4.122- Local 2, zona I ₃ | 126 |
| Figura 4.123 - Local 2, zona II | 127 |
| Figura 4.124 - Comparação entre o maciço rochoso no local 2 com a estrutura referente à classe H, definida por Marinos & Hoek, (2001) | 128 |
| Figura 4.125- Panorâmica da arriba SW e respetiva localização da scanline S3. | 129 |
| Figura 4.126 - Charneira da dobra afetada por subescavação basal. | 129 |
| Figura 4.127 - Pormenor da localização da scanline S3. | 130 |
| Figura 4.128 - Visualização da classificação segundo a BGD para o local 3 | 131 |
| Figura 4.129 - Comparação entre o maciço rochoso no local 3 com a estrutura referente à classe F, definida por Marinos & Hoek, (2001) | 133 |
| Figura 4.130 - Zona geomecânica I ₃ , pertencente ao local definido como 1..... | 133 |
| Figura 4.131 - Zona geomecânica I ₁ e I ₂ , pertencente ao local 1 | 134 |
| Figura 4.132 - Zona de transição entre o local 1 e 2, definida em termos litológicos e de estabilidade como pertencendo à zona I ₃ que lhe precede | 134 |
| Figura 4.133 - Zona geomecânica II, referente ao local definido como 2 | 134 |
| Figura 4.134 - Zona geomecânica II, referente ao local definido como 3 | 134 |
| Figura 4.135 - Evidência de blocos destacados no topo da arriba, zona II (local 3) | 135 |
| Figura 4.136 - Pormenor da zona geomecânica III, local 3. | 135 |
| Figura 4.137 – Visualização da extensão do local 2, com pormenor para a zona geomecânica II. | 135 |
| Figura 4.138 - Local 3, com destaque para o sinforma localizado na zona II, e para a zona III à sua direita | 136 |
| Figura 4.139 - Observações de campo zona I ₃ local 2, Outubro de 2014..... | 137 |
| Figura 4.140 - Observações de campo zona I ₃ local 2, Agosto de 2015 | 137 |
| Figura 4.141 - Extensão do areal no local 2, Praia das Furnas | 138 |
| Figura 4.142 - Zonamento geomecânico nas arribas N e E da Praia da Zambujeira do Mar | 141 |
| Figura 5.1 - Referência quanto ao local do bloco 1, Praia da Califórnia | 144 |
| Figura 5.2 - Referência quanto ao local do bloco 2, Praia da Califórnia | 144 |
| Figura 5.3 - Cone de detritos na arriba N da Praia da Zambujeira do Mar | 144 |
| Figura 5.4 – Retro-análise para os blocos 1 e 2 (37°), Praia da Califórnia | 144 |
| Figura 5.5 - Retro-análise para o cone de detritos (37°), Praia da Zambujeira do Mar | 144 |
| Figura 5.6 - Retro-análise para os blocos 1 e 2 (50°), Praia da Califórnia | 145 |
| Figura 5.7 - Retro-análise para o cone de detritos (50°), Praia da Zambujeira do Mar | 145 |
| Figura 5.8- Estimação segundo o ângulo de 37° (cenário pessimista), Praia da Califórnia | 145 |
| Figura 5.9 - Estimação segundo o ângulo de 45° (cenário realista), Praia da Califórnia | 146 |
| Figura 5.10 - Estimação segundo o ângulo de 50° (cenário realista), Praia da Califórnia | 146 |
| Figura 5.11 - Estimação segundo o ângulo de 37° (cenário pessimista), Praia da Zambujeira do Mar..... | 146 |
| Figura 5.12 - Estimação segundo o ângulo de 45° (cenário realista), Praia da Zambujeira do Mar..... | 146 |
| Figura 5.13 - Estimação segundo o ângulo de 50° (cenário realista), Praia da Zambujeira do Mar..... | 147 |

| | |
|---|-----|
| Figura 6.1 - Crista dolomítica, na área 2, Praia da Califórnia | 149 |
| Figura 6.2 - Potencial situação de tombamento de alguns blocos destacados por fendas, na Praia do Serro da Águia | 150 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 4.1 - Resumo da classificação do sistema RHRSm2 e respetiva conversão para o índice geral do talude..... | 39 |
| Tabela 4.2 - Comparação dos parâmetros relativos à avaliação semi-quantitativa segundo o índice de risco, e os fatores correspondentes ao índice de qualidade. | 39 |
| Tabela.4.3 - Classificação quantitativa e qualitativa do estado de qualidade do talude | 40 |
| Tabela 4.4 - Fatores e respetivos parâmetros para a avaliação do índice de qualidade. | 41 |
| Tabela 4.5 - Classificação segundo a BGD para a área 1 | 45 |
| Tabela 4.6 - Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD na área 1 | 46 |
| Tabela 4.7 - Avaliação do índice GSI para a área 1 | 47 |
| Tabela 4.8 - Classificação segundo a BGD para a área 2..... | 49 |
| Tabela 4.9 - Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD na área 2 | 50 |
| Tabela 4.10 - Avaliação do índice GSI para a área 2 | 50 |
| Tabela 4.11 - Reavaliação do risco para as arribas da Praia da Califórnia | 53 |
| Tabela 4.12 - Escala para a definição de IR | 53 |
| Tabela 4.13 - Aplicação do sistema RHRSm2 para a Praia da Califórnia | 56 |
| Tabela 4.14 - Dados relativos às arribas e respetivas divisões em locais na Praia do Serro da Águia..... | 59 |
| Tabela 4.15 - Características da estação N1 | 61 |
| Tabela 4.16 - Características da estação N2 | 62 |
| Tabela 4.17 - Classificação segundo a BGD para a arriba Norte | 63 |
| Tabela 4.18 - Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD | 64 |
| Tabela 4.19 - Avaliação do índice GSI para a arriba Norte | 64 |
| Tabela 4.20 - Características da estação S1 | 66 |
| Tabela 4.21 - Classificação segundo a BGD para a arriba Sul..... | 67 |
| Tabela 4.22 - Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD | 67 |
| Tabela 4.23 - Avaliação do índice GSI para a arriba Sul..... | 68 |
| Tabela 4.24 - Reavaliação do risco para as arribas da Praia do Serro da Águia..... | 71 |
| Tabela 4.25 - Escala para a definição de IR | 71 |
| Tabela 4.26 - Aplicação do sistema RHRSm2 para a Praia do Serro da Águia..... | 74 |
| Tabela 4.27 - Dados relativos às arribas e respetivas divisões em locais na Praia Grande | 77 |
| Tabela 4.28 - Características da estação N1 | 79 |
| Tabela 4.29 - Características da estação N2 | 80 |
| Tabela 4.30 - Classificação segundo a BGD para a arriba Norte | 81 |
| Tabela 4.31 - Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD | 82 |
| Tabela 4.32 - Avaliação do índice GSI para a arriba Norte | 82 |
| Tabela 4.33 - Características da estação E1 | 83 |
| Tabela 4.34 - Características da estação S1 | 85 |
| Tabela 4.35 - Características da estação S2 | 85 |
| Tabela 4.36 - Classificação segundo a BGD para a arriba Sul..... | 86 |
| Tabela 4.37 - Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD | 86 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 4.38 - Avaliação do índice GSI para a arriba Sul..... | 87 |
| Tabela 4.39 - Reavaliação do risco para as arribas da Praia Grande | 89 |
| Tabela 4.40 - Escala para a definição de IR | 89 |
| Tabela 4.41 - Aplicação do sistema RHRSm2 para a Praia Grande | 93 |
| Tabela.4.42 - Dados relativos às arribas e respetivas divisões em locais na Praia dos Buizinhos | 96 |
| Tabela.4.43 - Características da scanline N1..... | 99 |
| Tabela 4.44 - Características da scanline N2..... | 99 |
| Tabela.4.45 - Características da scanline N3..... | 100 |
| Tabela 4.46 - Características da scanline N4..... | 100 |
| Tabela 4.47 - Classificação segundo a BGD para a arriba Norte | 102 |
| Tabela.4.48 - Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD | 103 |
| Tabela 4.49 - Avaliação do índice GSI para a arriba Norte | 104 |
| Tabela 4.50 - Características da scanline S1..... | 106 |
| Tabela 4.51 - Classificação segundo a BGD para a arriba Sul..... | 107 |
| Tabela.4.52 - Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD. | 108 |
| Tabela 4.53 - Avaliação do índice GSI para a arriba Sul..... | 108 |
| Tabela 4.54 - Reavaliação do risco para as arribas da Praia dos Buizinhos | 112 |
| Tabela 4.55 - Escala para a definição de IR | 112 |
| Tabela 4.56 - Aplicação do sistema RHRSm2 para a Praia dos Buizinhos | 113 |
| Tabela 4.57 Dados relativos às arribas e respetivas divisões em locais na Praia das Furnas. | 117 |
| Tabela 4.58 - Características da scanline S1..... | 118 |
| Tabela 4.59 - Classificação segundo a BGD para o local 1..... | 120 |
| Tabela 4.60 - Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD. | 121 |
| Tabela 4.61 - Avaliação do índice GSI para a arriba NE, local 1 | 122 |
| Tabela 4.62 - Características da scanline S2..... | 123 |
| Tabela 4.63 - Classificação segundo a BGD para o local 2..... | 125 |
| Tabela 4.64 - Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD | 127 |
| Tabela 4.65 - Avaliação do índice GSI para a arriba W, local 2. | 128 |
| Tabela 4.66 - Características da scanline S3..... | 129 |
| Tabela 4.67 - Classificação segundo a BGD para o local 3..... | 131 |
| Tabela 4.68- Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD..... | 129 |
| Tabela 4.69 - Avaliação do índice GSI para a arriba SW, local 3 | 132 |
| Tabela 4.70 – Reavaliação do risco para as arribas da Praia das Furnas..... | 132 |
| Tabela 4.71 – Escala para a definição do IR..... | 132 |
| Tabela 4.72 – Aplicação do sistema RHRSm2 para a Praia das Furnas..... | 132 |

ÍNDICE DE QUADROS

| | |
|---|-----|
| Quadro 4.1 - Aplicação da metodologia de cálculo do índice de qualidade para a Praia da Califórnia | 58 |
| Quadro 4.2 - Aplicação da metodologia de cálculo do índice de qualidade para a Praia do Serro da Águia..... | 75 |
| Quadro 4.3 - Aplicação da metodologia de cálculo do índice de qualidade para a Praia Grande | 94 |
| Quadro 4.4 - Aplicação da metodologia de cálculo do índice de qualidade para a Praia dos Buizinhos | 115 |
| Quadro 4.5 - Aplicação da metodologia de cálculo do índice de qualidade para a Praia das Furnas..... | 140 |
| Quadro 5.1- Coordenadas dos blocos para o estudo por retro-análise na Praia da Califórnia | 143 |
| Quadro 6.1 – Quadro resumo de proposta de mitigação do risco de instabilidade das arribas das praias em estudo..... | 151 |

LISTA DE ABREVIATURAS

APA – Agência Portuguesa do Ambiente
ARH – Administração de Região Hidrográfica
BGD – *Basic Geotechnical Description*
CDDR - Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional
Dec. – Decimétrico
GFBA – Grupo do Flysh do Baixo Alentejo
GSI – *Geological Strength Index*
ha - Hectares
IRC – Índice de Rotura por Cunha
IRP – Índice de Rotura Planar
IRT – Índice de Rotura por Tombamento
ISRM - *International Society of Rock Mechanics*
Ma – Milhões de anos
MDT – Modelo Digital de Terreno
mm – Milímetro, unidade de pluviosidade
Obs.- Observação
PIB – Produto Interno Bruto
POOC – Plano de Ordenamento da Orla Costeira
PNSACV – Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina
RCU – Resistência à Compressão Uniaxial
RHRS - *Rockfall Hazard Rating System*
SIG – Sistema de Informação Geográfica
VS – Complexo Vulcano-sedimentar
ZG – Zona Geomecânica

LISTA DE SÍMBOLOS

W - Peso
Wi' – Ponderação dos parâmetros
Xi' - Rating
Xi – Cálculo da cotação atribuída a cada um dos parâmetros

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema

O litoral português estende-se por 987 Km, centralizando cerca de 75% da população nacional em apenas 25% do território, gerando 85% do produto interno bruto (PIB). As zonas costeiras assumem, deste modo, uma importância estratégica crescente em termos económicos, sociais, ambientais e culturais devido à disponibilidade hídrica, à facilidade de transportes e proximidade em relação aos maiores centros económicos.

Aproximadamente 30% da linha de costa é considerada como área protegida e inserida na Rede Nacional de Áreas Protegidas, sendo que cerca de 50% incluem as áreas pertencentes à Rede Natura 2000. É evidente que esta tendência populacional para o agrupamento em zonas costeiras origina o posicionamento de indústrias, áreas urbanas e áreas de turismo intensivo no litoral. Nesta perspetiva, estas zonas assumem um papel relevante ao nível de atividades económicas diversas, tal como a pesca comercial, o turismo e as atividades portuárias.

O crescimento exponencial que se tem verificado nas últimas décadas, resultando no aumento da pressão demográfica sobre a faixa litoral, tem vindo a promover a ocupação das zonas de perigo sujeitas a possíveis derrocadas (Brissos, 2013). Esta propensão para grandes concentrações urbanas gera, por isso, problemas ambientais consideráveis.

À problemática referida, acresce a pressão demográfica devido ao aumento da presença de pessoas nas praias. Sabendo que cerca de 66 milhões de pessoas (Tomás, 2011) frequentam as praias nacionais durante a época balnear, e que a costa Alentejana e Algarvia são as que apresentam um número considerável de praias sinalizadas, exibindo, assim um maior risco de derrocada, a abordagem ao tema em estudo torna-se uma preocupação notória. Esta situação tem vindo a merecer a melhor atenção por parte da ARH-Alentejo, integrada na APA, que tem promovido planos de ordenamento e gestão do território do litoral, nomeadamente os Planos de Ordenamento da Orla Costeira (POOC). Estes surgem como um instrumento enquadrador para a melhoria, bem como para a valorização e gestão dos recursos presentes no litoral, através da definição de regimes de salvaguarda, de proteção e de gestão, instituindo usos preferenciais, condicionados e interditos nas áreas de intervenção.

É sabido que a adulteração da paisagem física, em nome do desenvolvimento, tem vindo a atingir proporções alarmantes. Os reflexos da intervenção do homem no litoral são perceptíveis, nomeadamente a perda de território e a danificação de infraestruturas de proteção costeira, sendo que a retenção de grande parte dos inertes ao nível das barragens hidroelétricas pode ser considerada uma das causas do recuo das linhas de costa. No entanto, os movimentos de massa nas arribas, maioritariamente em praias com uso balnear, devem ser considerados um dos principais focos de estudo devido à sua irregularidade temporal. Este tipo de movimentos é caracterizado por velocidades de deslocamento da ordem de segundos, nem sempre antecidos de sinais de aviso e, devido a esse facto, considerados de difícil previsão. Após o início do movimento torna-se impossível a sua contenção, sendo, desta forma, necessária a compreensão dos mecanismos de rotura para identificar os sinais de potencial fraqueza nas arribas e minimizar o risco inerente (Brissos,2013).

Exemplos de alterações no litoral, em tempos recentes, chamam a atenção e justificam uma preocupação crescente. Situações concretas, como a rotura da parte superior da falésia da praia Maria Luísa, em Albufeira, a 21 de Agosto de 2009 provocou a morte de cinco pessoas e ferimentos noutras duas preocupam responsáveis e investigadores. Após o acidente, a costa foi fiscalizada, algumas arribas foram derrubadas tendo igualmente sido criada uma sinalização nas praias e inclusive uma lei que estabelece multas, caso as regras impostas pela sinalização não sejam cumpridas. A ARH defende que “A solução está em minimizar os riscos e corresponsabilizar os utentes”, posição que não é apoiada pelos estudiosos destas zonas que entendem que o estado deve, sim, alertar, mas não inculir a responsabilidade ao cidadão. Contestam ainda as demolições controladas que têm vindo a ser efetuadas, por acelerarem o processo de erosão da linha de costa (Tomás,2011).

Neste sentido, devem efetuar-se estudos de pormenor da estabilidade nas arribas das zonas costeiras mais propensas a movimentações, com o intuito de identificar os mecanismos de instabilização e clarificar situações quanto ao risco que estas mesmas representam.

1.2 Âmbito e Objetivos

A presente dissertação, para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica, pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, tem o intuito de avaliar o risco de estabilidade de arribas, prevenindo eventuais riscos ambientais gerados por movimentações de terrenos nas arribas rochosas de determinadas praias. O foco deste estudo recaiu sobre as praias na zona de Sesimbra (Praia da Califórnia), e Porto Covo, Vila Nova de Milfontes e Zambujeira do Mar, na zona da costa alentejana.

Para uma avaliação correta quanto ao perigo de instabilidade das arribas, um dos objetivos centrou-se no zonamento geomecânico efetuado sobre a frente das arribas, tendo por base o comportamento mecânico do maciço rochoso, com o objetivo de antecipar o movimento dos materiais provenientes das mesmas. Deste modo, o estudo geomecânico é responsável pela minimização do risco, perante o qual bens e populações sediadas nas zonas costeiras se encontram expostas. Este estudo pode ser reforçado com a determinação de possíveis movimentos e correspondentes circuitos de queda.

No cômputo geral, esta análise permitirá propor e encontrar soluções de engenharia adequadas para cada caso apresentado, reduzindo assim os custos gastos em obras de remediação.

Uma forma de divulgação do trabalho em causa surgiu, previamente, com a elaboração de um artigo científico para apresentação na Conferência Internacional de Riscos Urbanos no mês de Julho do presente ano.

Finalmente, e em síntese, esta dissertação pretende sistematizar informação sobre a instabilidade das arribas costeiras, inventariando os fenómenos que contribuíram para esse facto, analisando casos objetivos e pertinentes, procurando, tal como se enunciou anteriormente, respostas e propondo medidas de ordenamento com soluções técnicas de prevenção, mitigação e proteção destas estruturas geomorfológicas.

1.3 Estrutura e Metodologia da dissertação

1.3.1 Estrutura

A dissertação encontra-se estruturada em 8 capítulos, sendo que primeiramente é feita uma abordagem geral relativa à problemática que envolve toda a faixa litoral, particularmente a costa alentejana, justificando a necessidade de efetivar um estudo geotécnico e de avaliação do risco nesta área, sendo definidos os objetivos que se pretendem alcançar e a metodologia aplicada. Comporta uma revisão bibliográfica de diversos trabalhos já efetuados na área de estabilização de arribas, desde o ano 2009, que contém observações geotécnicas fundamentais para a progressão do estudo em questão.

O capítulo enumerado como 2 expõe a problemática no que concerne à estabilidade das arribas litorais, assim como a sua evolução geomorfológica ao longo do tempo e os inúmeros fatores que a controlam. É feita uma descrição cronológica da evolução da classificação dos movimentos de massa perspetivados numa visão evolutiva, bem como são enumerados e caracterizados os diferentes mecanismos de movimentos de terreno e os respetivos agentes e causas. Neste capítulo, é também colocado o enfoque nos riscos geológicos, que se revelam indissociáveis das movimentações de terreno que ocorrem no litoral português, segundo uma perspetiva de avaliação do risco e dos próprios fatores que lhe são inerentes.

A organização do capítulo 3 compreende uma caracterização das áreas de estudo (Porto Covo-Zambujeira do Mar e Sesimbra) a vários níveis, a saber: geográfico, geomorfológico, geológico e geotectónico e hidrogeológico. As regiões em estudo são ainda analisadas quanto ao seu clima e ocupação populacional por se considerar relevante do ponto de vista do desgaste que estas zonas geográficas sofrem por constrangimentos de carácter demográfico.

Do capítulo 4, consta a informação relativa à identificação das zonas de maior instabilidade. Consiste numa avaliação geotécnica de pormenor, através das classificações BGD e GSI, para reavaliação do risco preliminar, justificando análises e intervenções de carácter prioritário.

No capítulo 5, recorreu-se ao uso do *software RockPath* que possibilitou a obtenção de uma previsão mais clara e precisa quanto à possibilidade de ocorrência de determinados movimentos e das respetivas trajetórias de queda. Esta abordagem detalhada contribui para uma melhor definição do risco associado à queda de blocos em arribas em zonas urbanas. Seguida de um conjunto de propostas de soluções de engenharia para trabalhos de estabilização das arribas de forma a minimizar o investimento com intervenções desnecessárias e onerosas.

No capítulo 7 são apresentadas as considerações finais onde se apresenta o balanço e as conclusões finais, bem como propostas de trabalho para desenvolvimentos futuros desta abordagem.

1.3.2 Metodologia

Tendo presente que o foco de estudo é a análise de comportamento geomecânico de arribas de determinadas praias, o presente trabalho teve como informação inicial o inventário de dados relativos a locais específicos enquadrados no sector Sines-Odeceixe, realizado para Egiamb, Lda. e ARH-Alentejo (2014), além de consulta de trabalhos de estabilização de arribas de Julho de 2010, igualmente desenvolvidos para a empresa Egiamb. É necessário referir que, posteriormente, com base em recursos fotográficos e trabalho de observação nos locais foi efetuada uma interpretação e verificação dos dados previamente recolhidos, seguida de uma complementação dos mesmos através de um estudo geomecânico detalhado para as arribas das praias.

Para o caso de estudo referente à Praia da Califórnia em Sesimbra, inserida no setor Espichel-Sado, procedeu-se a um levantamento de dados de modo mais extensivo através de reconhecimento de campo, de modo a recolher informação quanto às situações de maior instabilidade, devidamente acompanhado por trabalhos de caracterização geomecânica de maciços rochosos complementados por análises de estabilidade de taludes.

A reflexão, neste estudo, incidirá sob o zonamento geomecânico baseado nos sistemas de classificação de maciços rochosos BGD e GSI. Além disso, proceder-se-á a uma reavaliação do risco preliminar através de:

- Uma avaliação semi-quantitativa para avaliar o potencial de ocorrência de um determinado fenómeno associado aos danos potenciais provocados pela ocorrência do evento sintetizado numa escala de índice de risco;
- Uma avaliação qualitativa e quantitativa do índice de qualidade dos taludes, realizando uma apreciação no que respeita a estabilidade e segurança segundo uma escala de índice de qualidade.

Ainda do ponto de vista metodológico, realizar-se-á a estimativa de trajetórias de queda de blocos através do *software RockPath*, nas praias urbanas de Sesimbra (Praia da Califórnia) e Zambujeira do Mar, de forma a ser possível apresentar recomendações, propostas e soluções para mitigação do risco.

Em resumo, a metodologia adotada segue as seguintes etapas, resumidas segundo o diagrama (Figura 1.1) da :

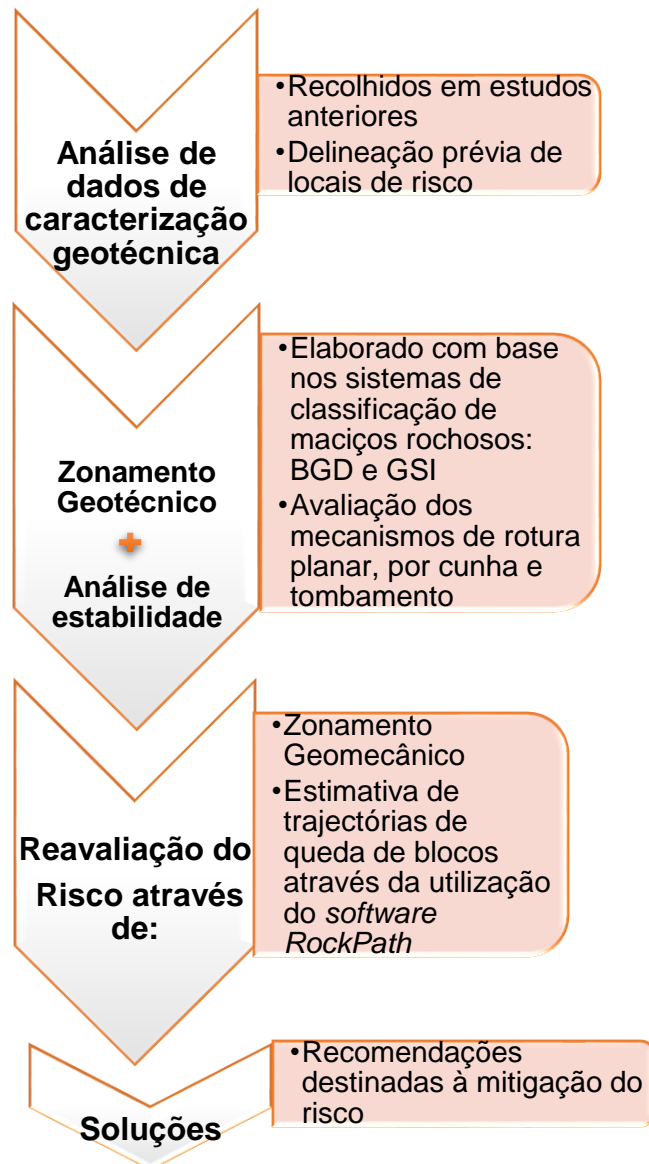


Figura 1.1 - Fluxograma sobre as principais etapas da metodologia adotada para o presente estudo

1.4 Revisão Bibliográfica

1. Problemática entre o crescimento populacional e a ocupação do litoral

As arribas litorais são elementos geomorfológicos relevantes e complexos, devido ao facto de se encontrarem dispostos numa interface entre a litosfera, a atmosfera, a hidrosfera e ainda a biosfera.

Segundo *Bromhead* (1992), as arribas apresentam-se como uma consequência natural da evolução geológica e geomorfológica, por vezes afetadas pela necessidade humana de modificação da paisagem por meios diretos ou indiretos.

A zona costeira portuguesa apresenta uma elevada dinâmica decorrente, especialmente, dos processos marinhos, mas onde a intervenção antrópica é cada vez mais marcante, quer ao nível das ações desenvolvidas nas bacias hidrográficas, principais fontes de sedimentos, quer ao nível

das ações de defesa costeira, que visam estabilizar esta faixa dinâmica tendo em vista proteger a sua ocupação (Santos,2011).

O desenvolvimento de atividade antrópica, se não for adaptado às taxas de recuo locais, pode resultar na indução de riscos não desprezáveis tanto para as infraestruturas costeiras existentes, como para pessoas e diferentes ecossistemas (Marques & Romariz, 1991; Catalão *et al.*, 2002).

O impacto negativo dos riscos naturais sobre as populações e património localizados em áreas costeiras devem-se também a uma maior concentração de população no litoral, verificando-se uma tendência importante de expansão e adensamento de áreas urbanizadas nas zonas costeiras, ocupando-se de forma negligente, áreas propensas ao risco.

As zonas costeiras, pela sua variedade e complexidade, reagem de maneiras distintas aos fenómenos extremos, sejam eles naturais, ambientais e tecnológicos, em função dos vários sistemas e ecossistemas presentes, sendo o seu estudo considerado um assunto de elevado interesse na área da geologia e geociências.

É evidente que os riscos que ameaçam a zona costeira, nomeadamente os resultantes das alterações climáticas ou da crescente pressão antrópica, designados fatores condicionantes externos, obrigam à adoção de medidas sustentáveis, cautelares, que previnam ou reduzam o impacto negativo dos fenómenos naturais e promovam modelos adequados de uso dos recursos costeiros e de ocupação do solo visando, ao mesmo tempo, melhorar a qualidade de vida das comunidades humanas (Santos,2011).

Conforme Marques (1997) afirma, a evolução das arribas é complexa, também devido ao facto de ser controlada por diversas variáveis, frequentemente de difícil avaliação. O seu desenvolvimento, ao longo do tempo, desencadeia determinado tipo de movimentos (de que são exemplo os escorregamentos, os desmoronamentos, as quedas de blocos e fluxos) geradores de riscos geológicos significativos para a ocupação humana. É, pois, crucial uma averiguação das condições de estabilidade ou instabilidade de arribas naturais para um correto estudo de engenharia. Um largo conhecimento relativo a diversos parâmetros, variáveis e modelos revela-se importante para uma correta e clara compreensão dos processos que afetam a estabilidade das encostas (Bromhead,1992).

A tipologia das instabilidades depende da natureza dos materiais e maciços envolvidos, incluindo a composição, o grau de meteorização e a estrutura do maciço que governam as respetivas propriedades geotécnicas, e ainda da altura e forma da vertente e da sua exposição aos agentes externos oceanográficos (ondas, marés), meteorológicos (ensombramento, vento, precipitação, escoamento) e a solicitações cíclicas (sismos e vibrações artificiais). A rotura das arribas litorais assume predominantemente a forma de movimentos de massa do tipo queda de blocos, escorregamento planar e tombamento (Marques & Andrade, 2009).

Para além dos acidentes pessoais, são numerosos os casos de núcleos urbanos, estradas, casas isoladas e outras estruturas situadas junto à crista das arribas, o que proporciona a ocorrência de múltiplas situações de risco.

A resolução dos seus problemas, designadamente o controlo dos processos erosivos, da ocupação urbana de zonas de risco, da destruição de habitats e a perda de biodiversidade e do declínio das atividades económicas que aí se desenvolvem, revela-se prioritária no âmbito de uma política de desenvolvimento sustentável, implicando que se procure o equilíbrio e interação indispensáveis entre a conservação dos recursos naturais, a proteção da natureza e o desenvolvimento socioeconómico de cada região, encontrando-se as soluções mais eficazes que lhes assegurem um efetivo desenvolvimento sustentável e equilibrado.

Reconhecendo a importância estratégica das zonas costeiras, a Resolução do Conselho de Ministros nº90/2008 emana orientações patentes num diploma que determina a realização de um conjunto de operações de requalificação e valorização de zonas de risco e de áreas naturais degradadas situadas no litoral (Polis Litoral Sudoeste, 2014).

As áreas costeiras assumem uma importância estratégica em termos ambientais, económicos, sociais, culturais e recreativos, pelo que o aproveitamento das suas potencialidades e a resolução dos seus problemas exigem uma política de desenvolvimento sustentável apoiada numa gestão integrada e coordenada (Resolução do Conselho de Ministros n.º 82/2009).

2. Avaliação do risco em taludes naturais

a. Conceito

Os estudos relativos ao perigo e risco de movimentos de terreno encontram-se claramente situados no nexo de preocupações sociais e científicas - duas áreas que nem sempre têm tido agendas compatíveis. A pesquisa e gestão eficaz de riscos requer a integração de uma vasta gama de interesses. Quer seja impulsionado por preocupações legais, morais ou económicas, há uma necessidade constante de criar e aperfeiçoar ferramentas direcionadas para a redução do risco, sejam estas científicas, de engenharia, legislativas, económicas ou educacionais.

Em termos mais simples, o perigo de movimentos de vertente pode ser descrito como o potencial físico para produzir danos devido às características particulares aquando do impacto e a magnitude e frequência com que ocorre. O risco de movimentos de terreno, por outro lado, consiste na antecipação ou previsão do impacto ou dano, perdas e/ou os custos associados com esse perigo. Idealmente, o perigo pode ser caracterizado por declarações de "o quê", "onde", "quando", "quão forte" e "quantas vezes", exigindo o conhecimento em ambas as condições espaciais e temporais (Glade *et al.*, 2005).

Segundo Glade *et al.*, (*op. cit.*) na maioria das sociedades, o objetivo final dos estudos de perigo e risco de movimentos de terreno centra-se numa avaliação precisa do nível de ameaça destes últimos: um objetivo, uma medida reproduzível, justificável e adequada dos riscos. O processo de estabelecimento de tal medida de risco é referido como estimativa do risco. O risco estimado pode deste modo ser avaliado (avaliação de risco), à luz das vantagens que lhe são acrescidas por estar exposto ao risco (análise de risco-benefício) e, como resultado, as decisões podem ser tomadas consoante o nível de risco é intolerável, tolerável ou aceitável. Uma comparação quanto à origem dos riscos pode ser efetuada, e as prioridades para o tratamento do risco podem ser racionalmente estabelecidas. A gama completa de procedimentos e tarefas que conduzem à implementação de políticas racionais e medidas adequadas para reduzir os riscos é referida como gestão de risco.

Segundo Julião *et al.* (2009, in Meneses, 2011) o risco consiste na “probabilidade de ocorrência de um processo (ou ação) perigoso e respetiva estimativa das suas consequências sobre pessoas, bens ou ambiente, expressas em danos corporais e/ou prejuízos materiais e funcionais, diretos ou indiretos...”.

Varnes (1984) afirma que quando as condições e processos que promovem a instabilidade podem ser identificados, é possível estimar a sua contribuição relativa e atribuir-lhes uma medida qualitativa e semiquantitativa, local por local. Deste modo, pode ser construída uma síntese quanto ao grau de perigo potencial de determinadas áreas, com base nos fatores presentes.

A determinação do risco é feita através da combinação dos fatores “Perigosidade”/ “Vulnerabilidade”, e o valor dos elementos em risco, através da equação definida por Varnes (1984) representada na pela equação (1) (in Brissos, 2013).

$$\text{Risco} = \text{Perigosidade (P)} \times \text{Vulnerabilidade (V)} \times \text{Elementos em risco (Er)} \quad (1)$$

Varnes (1984) definiu o conceito de perigosidade como “a probabilidade de ocorrência de um processo potencialmente danoso numa determinada área e num certo período de tempo”. Este conceito envolve três dimensões: a espacial, a temporal e a magnitude do evento. Consequentemente, a perigosidade a um dado movimento de vertente pode ser definida como a probabilidade de ocorrência de um evento de determinada magnitude numa área específica (Glade *et al.*, 2005). A vulnerabilidade é tida como o grau de fragilidade de um dado elemento ou conjunto de elementos em risco (populações, edificações, atividades económicas), em virtude

da ocorrência de um perigo potencial de determinada magnitude. Este parâmetro é função da extensão ou capacidade destes elementos para responder ao perigo ou às suas consequências (Brissos,2013).

A avaliação da perigosidade e do risco associado aos movimentos de vertente, tem sido recentemente tema de interesse para geocientistas, autoridades nacionais (no âmbito dos POOC) e para os poderes regionais (ARH, CCDR) e muitas são as técnicas propostas na bibliografia para definição de mapas de perigosidade de movimentos de vertente (Santos,2011).

Uma primeira etapa de análise do risco com base na abordagem determinística é a avaliação da suscetibilidade (Glade *et al.*, 2005). O termo “suscetibilidade” de movimentos de vertente é muitas vezes confundido na literatura com o termo “perigosidade” (Guzzetti *et al.*, 2005).

A suscetibilidade deve ser entendida como a idiossincrasia da ocorrência de um movimento em função de determinadas condições no terreno, ou seja, é avaliada pela correlação espacial que se estabelece entre os fatores de predisposição (e.g. declive, geologia, uso do solo) e a distribuição dos movimentos de vertente observado no território (Brabb, 1984). O conceito, de suscetibilidade é também definido por Zêzere (2007) (Figura 1.2) como a “...propensão do território à ocorrência de um tipo particular de movimento de vertente, com base nos fatores condicionantes da instabilidade...” (Meneses, 2011).

Para Guzzetti *et al.* (2006), matematicamente, a suscetibilidade à ocorrência de movimentos, pode ser traduzida como a tendência da ocorrência espacial numa superfície de movimentação conhecida, quando ocorrem determinadas condições geoambientais.

Assumindo que os movimentos irão ocorrer no futuro de acordo com as condições em que ocorreram no passado, os estudos de suscetibilidade podem ser usados para prever a localização geográfica de futuros movimentos de vertente.

De referir que são vários os métodos encontrados para avaliar este fator, sendo que os que se baseiam em modelos estatísticos são particularmente utilizados para determinar a suscetibilidade à ocorrência de movimentos em grandes e complexas áreas, fornecendo estimativas quantitativas de “onde” poderão ser esperados movimentos, baseados na informação detalhada da distribuição de movimentos passados e um conjunto de níveis de informação ambiental relacionada com a ocorrência de movimentos, ou seja, os fatores de predisposição (Santos,2011).

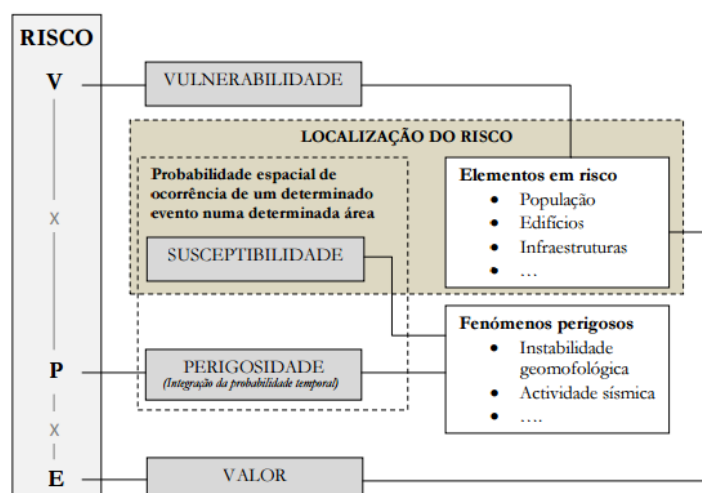


Figura 1.2 - Modelo conceitual do risco natural (adaptado de Zêzere, 2005) retirado de Meneses (2011)

A previsão do perigo de deslizamentos de terra é a capacidade de indicar, para determinados lugares, "onde" e "quando" irá ocorrer o possível evento e o modo como decorrerá. No entanto, a capacidade para prever o risco de movimentos de terreno com precisão é limitada e, consequentemente, perigo e risco são expressos em termos de possibilidades e probabilidades (Crozier, 1995).

Para prever a ocorrência de movimentos de terreno, diferentes métodos têm sido desenvolvidos e aplicados, sendo que para a comunidade científica em geral esta avaliação deve ser efetuada em função do nível de quantificação permitido (Van Westen *et al.*, 2006 in Brissos, 2013).

Os métodos podem ser divididos em quantitativos (probabilidade e consequências totalmente quantificadas), qualitativos (consequências expressas em termos qualitativos) e semiquantitativos (probabilidade e consequências expressas em termos qualitativos). A sua variação reside na metodologia utilizada na previsão de movimentos de terreno. O reconhecimento de campo, a análise geomorfológica e os métodos baseados na percepção e julgamento humanos caracterizam-se por serem métodos qualitativos, enquanto que as análises deterministas, as abordagens probabilísticas e os métodos estatísticos representam os métodos quantitativos com base em modelos matemáticos (Mutasem *et al.*, 2012).

Desde a década de 90 do século passado, a análise do risco tem sido cada vez mais aplicada ao contexto dos movimentos de vertente (nem sempre podendo ser quantificados face aos fatores que o integram) optando-se nestes casos pela estimação qualitativa, com base na experiência de alguns técnicos, havendo sempre a presença de um grau de incerteza nem sempre quantificável com facilidade (Hufschmidt *et al.*, 2005 in Meneses, 2011).

As análises qualitativas baseiam-se na classificação dos riscos de acordo com a sua magnitude, permitem a descrição da probabilidade de ocorrência e consequências associadas através de uma forma escrita, descritiva ou mediante aplicação de escalas de ordenação. Este método não permite a avaliação da grandeza relativa entre os vários riscos identificados.

A avaliação semi-quantitativa permite uma simples e célere priorização dos riscos identificados (e.g através da aplicação de uma ponderação numérica dos termos da equação definida em 1)). Esta metodologia permite um escalonar relativo utilizando classificações (e.g elevado, provável, médio, reduzido, etc.) e/ou índices (e.g de 1 a 5; 0 a 1) para a sua caracterização.

As análises quantitativas são baseadas em estimativas numéricas dos riscos sendo, portanto, mais objetivas. Permitem a estimativa numérica dos riscos, sendo que os valores utilizados pretendem ser uma representação válida da grandeza real das consequências (valor do dano, numero de mortes/feridos, entre outros) e da probabilidade para cada cenário avaliado.

Esta última metodologia é, muitas vezes, de difícil aplicação devido à ausência de informação não só espacial (e.g. urbanizações no local de estudo dificultam as observações no terreno), como temporal (e.g. ausência de cartas de inventariação de movimentos de terreno ao longo de vários anos não permitem obter a componente temporal da ocorrência destes fenómenos). Nestes casos, torna-se útil a abordagem qualitativa ou semi-quantitativa que, sendo mais subjetivas, incluem um grau de incerteza nem sempre de fácil apreciação (Brissos, 2013).

b. Limitações

A análise de risco das arribas representa fenómenos intrinsecamente difíceis de estudar. A natureza dos processos inibe a sua medição direta e a descontinuidade espaço-temporal que os caracteriza, dificultam a aquisição de séries contínuas de observações representativas e rigorosas, aplicáveis quer à totalidade do domínio em análise, quer a cada um dos sectores que o constituem (Santos, 2011). Não é também possível prever o local ou o momento em que uma rotura acontecerá, à semelhança do que sucede com outros fenómenos naturais de natureza aleatória, catastrófica e não suscetíveis de descrição determinista, como os sismos, as erupções vulcânicas ou os *tsunamis* (Santos *op cit.*).

Para efeitos de avaliação e gestão da perigosidade, esta dificuldade apenas pode ser contornada, embora parcialmente, através de métodos empíricos, em que se incluem

observações sistemáticas de campo. Embora subjetivas, as observações de campo efetuadas por geocientistas, experientes em geologia, geomorfologia e dinâmica do litoral e profundamente conhecedores do terreno, constituem a melhor aproximação à identificação de situações de rotura iminente ou com elevada probabilidade de ocorrência (Marques & Andrade, 2009).

É de realçar que qualquer modelo de previsão da suscetibilidade à ocorrência de movimentos tem um grau de incerteza, que depende de situações como: erros e dados incompletos referentes à informação disponível para a análise, quer nos dados dos movimentos quer nos dados ambientais; uma incorreta compreensão dos processos desencadeantes de movimentos e a sua evolução geográfica e temporal; limitações nas técnicas utilizadas na determinação da suscetibilidade; variabilidade natural inerente aos fenómenos de ocorrência de movimentos de vertente (Santos, 2011).

2 ARRIBAS ROCHOSAS EM CONTEXTO DE ANÁLISE DE RISCO

2.1 Evolução geomorfológica das arribas rochosas litorais

As arribas são definidas como uma forma particular de vertente costeira abrupta ou com declive elevado, em regra talhada em materiais coerentes pela ação conjunta dos agentes morfogenéticos marinhos, continentais e biológicos (Decreto-Lei n.º 166/2008 de 22 de Agosto). De acrescentar que as arribas costeiras representam formas geológicas particulares das vertentes litorais, definidas pela ligação terra - mar. Estas podem apresentar alturas muito variáveis e vertentes com declives acentuados (mais de 60° a 70° de inclinação) que se encontram em contacto com o nível do mar. A inclinação de um talude depende de vários fatores (naturais ou artificiais), destacando-se as características geológicas como a litologia, a morfologia, a estrutura dos terrenos, a ação marinha e a posição da arriba relativamente à mesma, bem como as condições climáticas locais e a ação humana (Lamas, 2012).

A constituição de uma arriba, ou os seus elementos (Figura 2.1), podem ser caracterizados desde a parte inferior (base) até à parte superior (topo) da mesma. A base da arriba pode ser descrita como uma zona de escavação moldada pela ação marinha, através da força das ondas. A evolução gradual desta depressão retira sustentação à parte sobrejacente da arriba, tendo como consequência o recuo da face da arriba (superfície contígua com a base) em direção ao continente. A face da arriba é considerada a sua superfície dominante, podendo ser definida pela zona de transição entre as formações geológicas afetadas pela erosão marinha e, ou, a atmosfera envolvente. Em termos genéricos, esta pode ser denominada como correspondendo à arriba propriamente dita.

Na parte superior da arriba é visível uma diferença considerável quanto à inclinação da mesma, que corresponde à transição entre a face da arriba (substancialmente mais inclinada) e a crista da arriba, mais aplanada e não modelada pela evolução costeira/marinha. A crista representa, assim, uma linha que define a extremidade superior da arriba, podendo corresponder diretamente ao vértice de um ângulo aproximadamente reto, dependendo da inclinação, intitulado-se como bem definida ou, por outro lado, pode apenas refletir uma variação progressiva do declive, por isso, mal definida. Os elementos morfológicos mais utilizados para a sua definição são a linha de inflexão do pendor da vertente ou a linha de máxima curvatura.

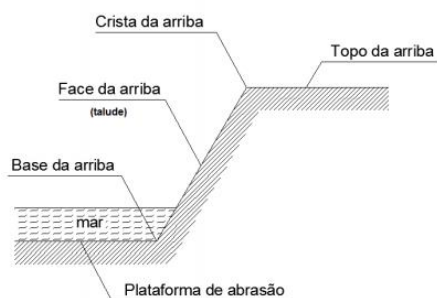


Figura 2.1 - Elementos geomorfológicos de uma arriba costeira retirado de Costa (2012)

Em Portugal, a regulamentação relativa a qualquer utilização ou ocupação de áreas costeiras dominadas por arribas é instituída pelos POOC (Planos de Ordenamento da Orla Costeira) onde, de forma a minimizar os riscos associados à ocorrência de movimentos de terrenos em arribas, se definem geralmente três zonas, como referem Marques e Andrade (2009): zona de perigo adjacente ao pé da arriba; zona de perigo adjacente à crista da arriba e zona de proteção suplementar (Figura 2.2).

A primeira zona diz respeito a uma área de terra de largura fixa ou igual à altura da arriba, que se prolonga do pé da arriba na direção do mar, e delimita o deslocamento máximo que o material instabilizado pode adquirir até à imobilização, após se dar a rotura. Nesta faixa não é permitida a construção de quaisquer infraestruturas, sendo comum a implantação de sinalização de perigo

de instabilidade, especialmente na presença de arribas cujo enquadramento geológico-estrutural é propício à ocorrência de quedas de blocos e tombamentos.

A segunda zona é uma faixa de terra de largura fixa ou igual à altura da arriba, que se prolonga da crista da arriba para o interior. A delimitação desta zona baseia-se na distância máxima até onde se verificam perturbações, derivadas da ocorrência de roturas, que possam, de alguma forma, diminuir os parâmetros resistentes da arriba e potenciar novos episódios de instabilidade. Nesta faixa não é permitida a construção de novas infraestruturas sendo que construções já implementadas podem apenas ser reparadas ou, se se considerar conveniente, aumentadas para o interior.

A terceira zona corresponde a uma área de terreno de altura fixa ou igual à altura da arriba que se prolonga do limite da zona de perigo na crista da arriba na direção do continente. Tem como objetivo evitar a implementação de sobrecargas que induzam aumento das tensões intersticiais que poderão reduzir o coeficiente de segurança da arriba. Da mesma forma, no caso de ocorrência de grandes instabilizações que possam provocar a rotura da zona de perigo principal, garante-se assim alguma distância entre a nova crista e as infraestruturas mais próximas. Nesta área está igualmente interdita a implantação de novas infraestruturas fixas, e a exemplo da zona supracitada, só são permitidas reparações em construções já existentes ou novos dimensionamentos para o interior. Ao contrário dos casos anteriores é, no entanto, permitida a implantação de estruturas temporárias (Brissos,2013).

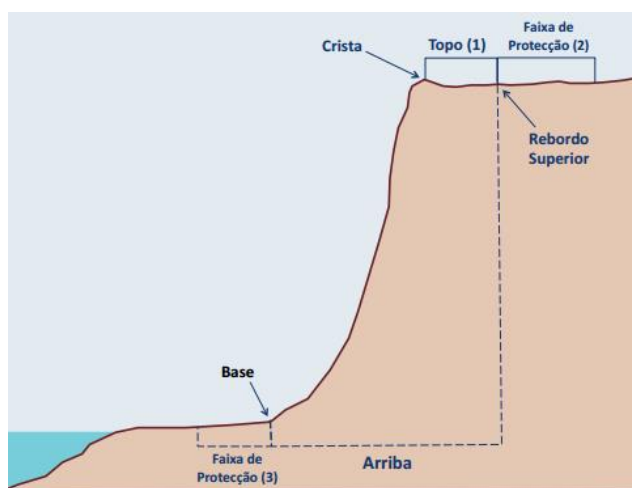


Figura 2.2 - Arriba costeira alcantilada. O topo até ao rebordo superior deve ter, sempre que possível, um mínimo de 25 metros (1). A faixa de proteção superior deve ter um mínimo de 50 metros (2). A faixa de proteção inferior tem a largura mínima de 15 metros (3), na ausência de outros valores de referência (STCNREN, 2009) Fonte: (Ribeiro,2010)

As interações entre as diversas interfaces (litosfera, atmosfera, hidrosfera e ainda a biosfera) podem ser exemplificadas através da influência entre o trânsito litoral de sedimentos, o fornecimento sedimentar proveniente das bacias hidrográficas, a granulometria e composição das partículas sedimentares, a intensidade e direção do transporte eólico, os condicionamentos impostos por afloramentos rochosos costeiros, bem como o tipo de litologia e estruturas que os caracterizam. Deste modo é possível entender que cada uma das componentes dos sistemas da Terra é influenciada por fatores de outras esferas, permitindo concluir que as zonas costeiras compõem as zonas mais dinâmicas à superfície da Terra. Todavia, o dinamismo que estas zonas representam pode revelar uma impossibilidade quanto a uma avaliação de pormenor da evolução dos ambientes costeiros.

As áreas costeiras, manifestando-se por natureza como sistemas dinâmicos, experimentam importantes modificações a diversas escalas temporais. Quando essas modificações interferem com a escala temporal humana, a quantificação da evolução da linha de costa assume um papel decisivo, procedendo-se à sua monitorização através da análise de determinadas características das arribas, nomeadamente de possíveis indicadores das suas variações (Tavares *et al.*, 2004).

Relativamente aos sistemas de evolução de arribas (Figura 2.3), uma problemática complexa, também pelo facto de ser controlada por diversas variáveis, podendo adquirir diferentes configurações ao longo do tempo. Esta evolução morfológica deve-se aos efeitos erosivos e a fenómenos de instabilidade a que se encontram sujeitas (Costa, 2012). O processo erosivo é fundamentalmente traduzido numa sequência descontínua de movimentos de massa de vertente, tendencialmente concentrada durante os períodos de pico da atividade dos agentes mesológicos, nomeadamente tempestades, forte precipitação e sismos (Sunamura, 1992; Bird, 2000 in Santos, 2011). As arribas litorais podem ser analisadas como taludes naturais que sofrem erosão intensa no sopé, o que provoca o aumento de declive do talude e a subescavação da base do talude (promovendo a formação de consolas), traduzindo-se na ocorrência de fenómenos de instabilidade (Santos op cit.). Estes fenómenos encontram-se dependentes do ângulo de atrito nos planos de descontinuidade, da litologia presente e respetiva estrutura, assim como o fator clima pode facilitar a meteorização das rochas (química nos climas tropicais, mecânica nos climas frios e áridos). Porém, os detritos resultantes destes movimentos constituem proteção da base da arriba que impedem, durante um determinado intervalo de tempo, a sucessão da erosão marinha.

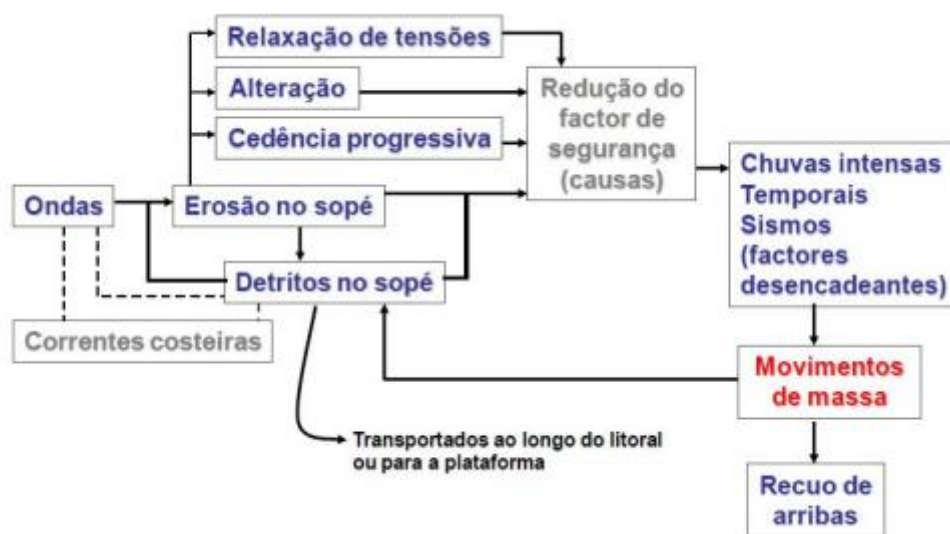


Figura 2.3 - Processo simplificado da evolução das arribas litorais (Adaptado de Sunamura, 1992 e retirado de Santos, 2011)

Em Portugal, existem zonas particularmente suscetíveis à ocorrência de instabilidades de arribas, consequência de uma linha de costa maioritariamente retilínea exposta à ação marítima e subaérea, assim como, devido a um relevo vigoroso frequentemente associado a características deficientes ao nível da resistência do terreno ou a contextos em que a erosão no sopé é particularmente intensa (Mateus 2008 in Costa, 2012).

Após a remoção completa dos depósitos da base, segundo Marques (1997), verifica-se uma sequência cíclica em que o processo erosivo sobre a base do maciço é reiniciado criando situações propícias à ocorrência de novos movimentos de terreno ao longo das arribas. Estas encontram-se, deste modo, perante um novo ciclo de recuo (Falcão Neves, 2004 in Costa, 2012). É de referir que segundo Sunamura (1983 in Brissos, 2013), a ocorrência de erosão no sopé das arribas resulta, em última análise, da relação entre a força erosiva da ondulação e a resistência do maciço que constitui a base das mesmas.

2.2 Movimentos de terreno e respetivos mecanismos

Os movimentos do terreno têm sido objeto de diversos estudos dando origem a grande diversidade de classificações que têm sido publicadas. Esta multiplicidade de abordagens deve-se a várias razões (Lamas, 2012):

- À variedade de tipos de ocorrências impõe uma vasta gama de inter-relações entre si, podendo estas receber designações diferentes consoante o autor;
- À diversidade de critérios adotados por autor, sendo os mais utilizados: Tipo de movimento; tipo de material afetado; velocidade do movimento; idade da ocorrência;

estado de atividade do movimento; causas da perturbação do movimento; ambiente geológico e morfológico; ambiente geoclimático, entre outros;

- c) A tendência de cada autor em adotar sistemas classificativos facilmente aplicáveis às regiões que estuda e/ou habita, sendo, logo, muito importante estudar a influência das condições ambientais aí predominantes (geológicas, morfológicas, climáticas, etc.)

Ao longo do tempo, verificou-se, com o desencadear de inúmeros movimentos de terrenos quer em vias de comunicação como noutro tipo de estruturas construídas em zonas posteriormente consideradas instáveis, que as técnicas utilizadas para a execução de obras de recuperação e de estabilização de taludes estavam fortemente condicionadas pelo tipo de movimento ocorrido.

Deste modo, a classificação de movimentos de vertente foi alvo de estudo por numerosos autores tendo, por isso, evoluído ao longo dos anos (Lamas *op cit.*):

- A primeira referência tipológica de movimentos de terreno, alguma vez publicada, poderá ser atribuída a William Mather (1838), o qual descreveu como escorregamentos sucessivos um conjunto de ocorrências afetando as margens do lago Erie, junto à cidade de Cleveland, no estado norte-americano do Ohio;
- Em 1848, Collin, referindo-se a terrenos argilosos e baseando-se na geometria definiu, basicamente, dois tipos de movimentos: os Profundos e os Superficiais;
- Em 1875, Baltzer elaborou uma classificação na qual utilizou, pela primeira vez, o tipo de movimento como critério principal: Quedas e Escorregamentos;
- Um pouco mais tarde, Heim (1882) desenvolveu uma classificação baseada em critérios geológicos: Movimentos de Terra ("talus") e Movimentos de Rocha, cada um deles subdividido em Quedas e Escorregamentos;
- Anos depois, após estudos aprofundados em diversas ocorrências por toda a Suíça, o mesmo investigador (1932) veio a conceber um sistema classificativo mais elaborado no qual distinguia vinte tipos de movimentos reunidos em quatro grupos principais;
- Posteriormente, Sharpe (1938) propôs uma classificação na qual, dentro de um largo espectro de ambientes hidrológicos e climáticos, relacionava os tipos de movimentos, atuando com determinadas velocidades, com o meio geológico;
- Por seu lado, Záruba & Mencl (1982) dão relevância ao ambiente geológico onde as diferentes formas de instabilidade têm lugar, tendo para tal proposto quatro classes de situações distintas;
- A classificação de velocidades adotada, a partir de 1993, pelo "International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory" e baseada, com pequenas alterações, na escala de velocidades da autoria de Varnes (1958);
- De referir Varnes (1978) que apresentou um sistema de classificação abrangendo cinco grupos distintos de movimentos de terrenos em taludes, realçando o papel do tipo de material envolvido para justificar os diferentes mecanismos de rotura e respetivas velocidades de movimentação.

Esta classificação foi adotada pela Comissão para os Movimentos de Terrenos da Associação Internacional de Geologia de Engenharia em 1990 e aceite pela comunidade científica. Refira-se que no sistema de classificação de Varnes (1978) e Cruden, os movimentos de vertente são classificados de acordo com o tipo de mecanismo e, também, em função do tipo de material (rocha ou solos). Em função do mecanismo, distinguem-se escorregamentos (*slides*), quedas (*falls*), fluimentos (*flows*), tombamentos (*toppling*) e expansões laterais (*lateral spreads*) (Figura 2.4) Quanto ao tipo de material, considera-se a rocha, os detritos (material grosseiro) e solo ou material fino (Meneses, 2011).

Apresentando-se os movimentos de fluimento como deformações internas maiores que o escorregamento (onde apenas ocorre deformação ao longo de um plano ou zona interna muito restrita), não existindo um plano de separação entre o material em movimento e o terreno, apresenta uma deformação plástica da camada superficial (diminuindo com a profundidade). Estes últimos, não sendo característicos de arribas rochosas litorais, não devem ser mencionados neste estudo.

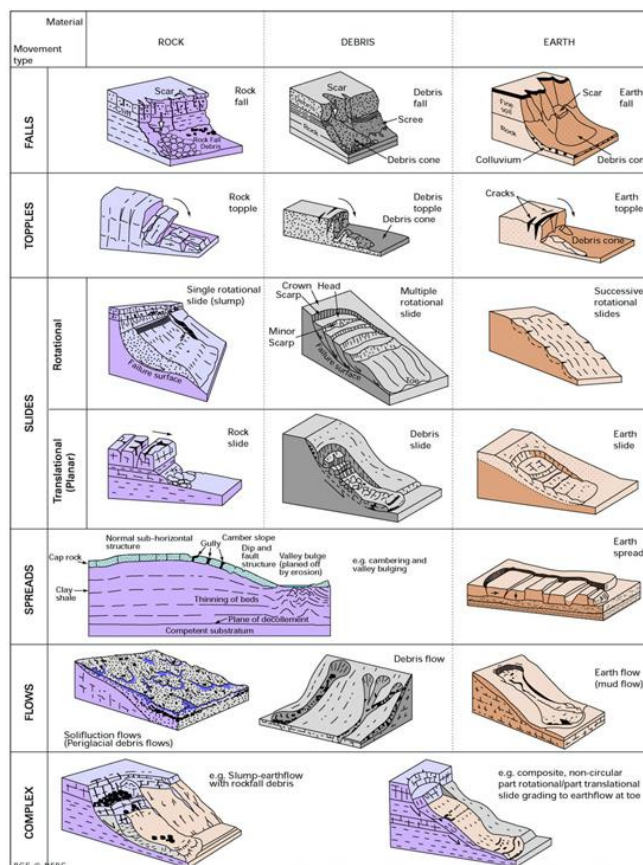


Figura 2.4 - Representação da classificação da tipologia de movimentos, proposta por Varnes (1978) in *British Geological Survey*.

i. Quedas de blocos e desmoronamentos ("Fall")

Este conceito define-se por um movimento muito rápido, mesmo brusco, total ou parcialmente em queda livre (sem uma superfície definida de movimentação), de blocos isolados de rocha ou de solo, ou de conjuntos de blocos, mais ou menos numerosos, geralmente a partir de um ponto elevado de uma escarpa ou vertente muito inclinada, como arribas marinhas ou taludes de escavação ladeando estradas ou caminho-de-ferro.

O destaque deve-se às descontinuidades que cortam o maciço e ao longo das quais se deram fenómenos de alteração e desagregação, acabando os blocos por se soltarem. Estes passam a mover-se em queda livre até atingir um ponto do terreno a cota inferior. Este fenómeno abrange, na totalidade ou em parte, a seguinte sequência de acontecimentos: rotura e destaque - queda livre - ressalto - rolamento - imobilização.

A distância que o bloco percorre desde o início da queda até à imobilização depende, entre outros fatores, do declive da escarpa, da forma e dimensões do bloco, do ângulo segundo o qual este atinge a escarpa no momento do impacto nesta e da quantidade de energia cinética absorvida pela cobertura vegetal durante o impacto no terreno. A resistência e compartimentação do material que constitui o bloco são também um fator a considerar pois, tratando-se de solo ou de rocha branda e/ou intensamente fissurada, aquele pode desagregar-se logo que embate nalguma saliência da encosta ou quando atinge a base desta (Lamas, 2012).

No desencadeamento destes movimentos podem estar várias causas tais como a formação de gelo ou acumulação de água nas fissuras, vibrações intensas, erosão e intervenção antrópica (e.g. escavação), sendo impulsionados pela força de gravidade exercida pelo peso de uma massa substancial (solo, rocha ou detritos), o que dá origem a uma queda brusca (deslocação extremamente rápida), considerando-se, por isso, estes fenómenos muito destrutivos (Varnes, 1978). A partir desta queda abrupta, podem desencadear-se outros processos, nomeadamente, o rolamento ou a saltação de pequenos fragmentos, ao longo das vertentes, oriundos da desintegração da massa afetada no momento de impacto com a superfície a jusante. Neste sentido, o declive das vertentes é fator importante para a continuação do movimento da massa instabilizada (Meneses, 2011).

ii. Tombamentos ("Toppling")

Esta tipologia de movimentos de terreno corresponde a um movimento de rotação para diante de colunas ou de painéis de rocha, solo ou detritos em torno de um eixo situado abaixo do centro de gravidade da massa instável ou na sua base (Varnes, 1978), por cedência do terreno subjacente ou por ação de forças exercidas a partir do maciço de onde se destacaram. A água que preenche as descontinuidades que separam aquelas colunas ou painéis do maciço a que pertencem, tem, por vezes, importância no desenrolar deste mecanismo, já que impõe pressões hidrostáticas. Essas descontinuidades, verticais ou muito inclinadas no sentido do interior do maciço, tanto podem corresponder a planos de estratificação ou de xistosidade subverticais ou a diaclases, como ainda a fendas de tração devidas a alívio de tensões laterais ou à perda de resistência ou à erosão de uma camada sobre a qual assenta um trecho proeminente de uma escarpa (Lamas, 2012). A estabilidade de arribas afetadas por este tipo de mecanismo está dependente de diversos parâmetros.

A análise de situações em que a descontinuidade que destaca o bloco não apresenta coesão é condicionada: (1) Pela altura (h) e largura do bloco (b); (2) Pela inclinação do plano sobre o qual o bloco assenta (ψ); (3) Pelo ângulo de atrito entre a base do bloco e o plano (ϕ). Ashby (1971 in Hoek & Bray, 1981), definiu diferentes estados de estabilidade definidos por relações entre estes parâmetros, considerando que quando o vetor peso (w), que passa no centro de gravidade do bloco, é projetado para um ponto fora da sua base a estabilidade do sistema fica comprometida e ocorre tombamento (Brissos, 2013).

iii. Escorregamentos ("Slides")

Estes fenómenos dizem respeito a movimentos mais lentos, envolvendo massas de solo ou de rocha deslizando ao longo de uma superfície de rotura bem definida e situada no interior do talude. A principal característica dos escorregamentos advém do facto do movimento ocorrer ao longo de uma superfície de rotura por corte, facilmente reconhecível pelas alterações que provoca na morfologia original do terreno.

Consoante a geologia do terreno afetado e a geometria daquela superfície, assim se distinguem os diversos tipos de escorregamentos. Em função do plano de rotura, estes subdividem-se em deslizamentos rotacionais e translacionais (com plano de rotura planar ou composto). Este plano de rotura é definido como a superfície ao longo da qual ocorre o movimento tangencial (Zêzere, 2005 in Meneses, 2011). Na avaliação deste tipo de movimentos é importante considerar o tipo de fratura e material afetado, de forma a se proceder da maneira mais coerente, quando esteja em prática o ordenamento do território (Varnes, 1978).

Escorregamentos rotacionais ("Slump")

Estes movimentos, também conhecidos por *slumps*, ocorrem ao longo de um plano de rotura côncavo (Varnes, 1978). É necessário que o talude seja constituído por material mais ou menos isotrópico, em geral argiloso ou, sendo rochoso, recortado por densa fracturação orientada aleatoriamente. Hutchinson (1988) divide estes movimentos em singulares, múltiplos ou sucessivos, sendo que no primeiro caso propõe ainda uma subdivisão baseada na espessura de material instabilizado, estimada a partir do afloramento do plano de rotura, que pode surgir na

vertente (rotura de talude), na base do talude (rotura de sopé), ou a jusante do mesmo (rotura pela base) (Brissos, 2013)

Os escorregamentos rotacionais são, por vezes, profundos, envolvendo a massa deslocada um volume importante em relação à dimensão do talude afetado. A maioria dos escorregamentos rotacionais típicos definidos por uma superfície de rotura semicircular, em forma de colher (Varnes, 1978), só são possíveis em terrenos moles, coesivos e relativamente homogêneos. No caso de taludes rochosos, podem ocorrer em determinadas zonas onde o maciço se apresenta fortemente meteorizado ou intensamente compartimentado por fraturação densa e aleatória (Hoek & Bray, 1981) (Lamas, 2012).

Neste tipo de movimento, as depressões resultantes podem originar a acumulação de água, uma condição relevante para o aumento da instabilidade da massa já deslizada, contribuindo para o desencadeamento de um novo movimento, principalmente quando esta acumulação é no sector montante, sendo por isso decisiva a drenagem destas áreas (Meneses, 2011).

Escorregamentos translacionais ("Planar slide")

Estes movimentos implicam uma translação que ocorre numa vertente, seguindo, na maior parte dos casos, uma superfície plana, bem lubrificada e com alguma inclinação (Rebelo, 1977), obtendo por isso a sua designação de movimentos translacionais (Meneses, 2011).

Definem-se como movimentos de massas de terreno terroso ou rochoso, por vezes de grande extensão, ao longo de superfícies de rotura planas, que correspondem a superfícies de baixa resistência do maciço:

- Descontinuidade estrutural (Falha; Diáclase, Superfície de Estratificação; Plano de xistosidade);

- Fronteira entre formações de diferentes resistências.

Estas superfícies de baixa resistência inclinam, em regra, para fora do talude, permitindo que os terrenos sobrejacentes deslizem sobre ela assim que as tensões tangenciais instaladas ultrapassem a sua resistência ao corte (Lamas, 2013).

As superfícies, ao longo das quais ocorre o movimento, são, geralmente, definidas por descontinuidades estruturais do maciço, nomeadamente superfícies de estratificação, de fraturação, de xistosidade, ou planos de falha. A orientação e distribuição destas superfícies, se concordantes com a atitude da face do talude, podem potenciar situações de instabilidade sendo que, no caso de a coesão ser nula, a relação entre os valores da inclinação e do ângulo de atrito nas superfícies de deslizamento condiciona fortemente a estabilidade do sistema. A existência de camadas com grande variabilidade nas suas características de resistência, pode, igualmente, constituir um fator propício à ocorrência de instabilizações (Brissos, 2013).

Escorregamentos compostos ("Compound landslide")

Este tipo de movimento é um escorregamento típico presente em maciços com importantes anisotropias produzindo, por rotura, superfícies em parte curvas e em parte planas (Lamas, 2013).

iv. Expansão lateral de blocos ("Lateral Spread")

Finalmente, este movimento envolve a fracturação e expansão lateral de material coerente, rocha ou solo, devido a fenómenos de liquefação ou fluência do material plástico subjacente. Daqui resulta que o material sobrejacente poderá sofrer subsidência, translação, rotação ou desagregação. Alguns autores classificam este tipo de movimento de terreno como escorregamento de blocos. Contudo, tal não deverá ser assim considerado, na medida em que não existe, sob os ditos blocos, qualquer superfície de rotura bem definida mas antes uma deformação plástica das camadas moles subjacentes sujeitas, entre outros fatores, ao peso dos blocos que sobre elas assentam. O maciço rochoso em movimento quebra-se em sucessivas unidades aparentando *grabens* e *horsts*. As extremidades da camada rígida superior desagregam-se em blocos deslocados dos seus locais originais (Lamas, 2013).

2.3 Principais agentes e causas

Torna-se um imperativo a identificação dos motivos que levam à ocorrência de movimentos de terreno de forma a melhor prever eventuais situações de instabilidade que possam ocorrer em taludes e condicionar a sua evolução, no caso de já se ter iniciado o processo de instabilização (Brissos,2013).

De acordo com Varnes (1978), as causas têm a sua origem no conjunto de fatores que contribuem para o acréscimo de tensões de corte (desaparecimento de suporte lateral, instalação de sobrecargas, ações sísmicas ou vibrações provocadas pelo Homem) e/ou em outros agentes que contribuem para a redução da resistência ao corte, a saber: os que têm a sua origem nas características dos terrenos- composição litológica, textura, estrutura e geometria do talude - e os que, atuando sobre esse mesmo terreno, tendem a alterá-lo, diminuindo-lhe a resistência, tais como, a meteorização e outras reações físico-químicas, acréscimos das tensões intersticiais e perda de coesão por decompressão e /ou fissuração) (Lamas, 2013).

Crozier (1986 *in* Lamas, 1998) classifica os agentes de instabilidade em preparatórios, desencadeadores e controladores, baseando-se em critérios como o seu tipo e intensidade relativa (Brissos,2013). Convém, brevemente, clarificar estes conceitos: os agentes preparatórios são aqueles que atuam de forma a aproximar o talude do limite de estabilidade sem, no entanto, iniciarem o movimento; os agentes desencadeadores ("triggering factors") iniciam o movimento colocando o talude num estado de instabilidade ativa. A principal diferença entre estes dois tipos de agentes é a sua intensidade e a forma mais ou menos direta com que atuam no terreno. Os agentes controladores impõem as características do movimento (geometria, velocidade e duração do movimento) logo que este se inicia. Estes últimos, também chamados de condicionantes, justificam a maior ou menor suscetibilidade dos terrenos à rotura e abrangem características próprias do meio como a litologia, estrutura, morfologia, a hidrogeologia e outras condições ambientais como a erosão pela água ou vento, oscilações do nível freático e ondulação marinha. Em síntese, as arribas são talhadas pela ação conjunta de agentes morfogenéticos marinhos, subaéreos e/ou biológicos, podendo verificar-se franca dominância de um destes agentes.

Os fenómenos de erosão dependem da conjugação de um conjunto de fatores endógenos e decorrentes da evolução natural dos sistemas costeiros, com consequente perda de território (Santos,2011).

Aproximadamente 25%da orla costeira continental é afetada por erosão costeira. Regista-se tendência erosiva, ou com erosão confirmada, em cerca de 232 km, sendo de referir a existência de um risco potencial de perda de território em 67% da orla costeira. Como causas principais de erosão, apontam-se a artificialização das bacias hidrográficas, a expansão urbana, a construção de infraestruturas como vias de comunicação e outras, a interrupção do transporte de sedimentos ao longo da costa devido a construção de portos, estruturas de defesa costeira como esporões, dragagens e exploração de inertes. Existem troços de costa constituídos por arribas, em permanente evolução, onde os processos erosivos provocam situações de risco devido ao desmoronamento e queda de blocos.

Os processos erosivos poderão ser agravados pelos efeitos das alterações climáticas, designadamente pela subida mais rápida do nível do mar e da ocorrência mais frequente de fortes temporais. Em termos de políticas públicas e de planeamento, Portugal tem vindo ao longo dos anos, a desenvolver capacidades e competências para lidar com o problema, possuindo um quadro estratégico e regulamentar relativamente consolidado e que enquadra necessidades físicas de intervenção (Polis Litoral Sudoeste, 2014).

No conjunto dos processos de erosão, transporte e sedimentação, as ações do mar são múltiplas e variam, essencialmente, em função da distância à linha de costa e da profundidade, dois parâmetros claramente interligados. Pelas diferenças existentes, tanto a nível dos processos como dos efeitos, distinguem-se uma zona litoral, zona nerítica que inclui a plataforma continental, e a zona pelágica em alto mar que pode ser dividida em zona batial (correspondente à vertente continental) e a zona abissal (grandes fundos oceânicos). Relativamente à zona litoral

é evidente o facto de o mar ser um sistema dinâmico e complexo, alimentado por forças incomensuráveis que o ser humano não domina, cuja ação sobre o litoral busca constantemente um equilíbrio de coexistência nunca alcançado à escala do tempo geológico, embora aparentemente estável à escala da vida humana.

Para além das oscilações do nível do mar, ou eustáticas e das deformações da crosta, quer epirogénicas (deformações relacionadas com movimentos verticais das massas continentais rígidas) quer orogénicas (referência à formação de grandes relevos a partir de cavalgamentos, carreamentos de porções da crosta “jovem” nas fronteiras de placas em aproximação ou colisão) sobressaem, por serem mais visíveis: a natureza e a estrutura das rochas (e a sua maior vulnerabilidade à erosão); o clima, em especial no que diz respeito à pluviosidade, à temperatura e aos ventos; ainda outros, próprios do mar, como sejam as vagas (intensidade e orientação), as marés e as correntes marinhas. Conjuntamente com as ações mecânicas desencadeadas pelas vagas (consideradas por alguns autores como a onda deformada, em vias de rebentação), as ações de alteração química e/ou dissolução que a água do mar exerce sobre as rochas do litoral têm elevada importância, com efeitos variáveis em função das respetivas naturezas. A interface da hidrosfera com a litosfera define-se pelas leis naturais, são elas as leis da física e da química, que se encontram permanentemente subjacentes aos processos geológicos e biológicos.

De assinalar que as vagas, desencadeadas por ação do vento, transmitem até ao litoral a energia que dele recebem e cuja ação erosiva é intensificada pelo efeito abrasivo dos materiais presentes como as areias, os seixos e os blocos. A consequência desta ação (vento) é a formação dos litorais de erosão, ou catamórficos, representados por arribas ou falésias que recuam à medida que ocorre o aumento da plataforma de abrasão marinha. Este aspeto reflete-se na constituição da praia: a parte terrestre da faixa do litoral é denominada de praia emersa (*back shore*) corresponde ao domínio supratidal ocupado durante as marés vivas e tempestades, sendo que em relação à praia propriamente dita, esta corresponde ao domínio intertidal (*fore shore*). A praia imersa (*shore face*) expõe-se na baixa-mar e corresponde ao domínio infralitoral. Existe uma zona de transição (circalitoral) para a plataforma continental (*offshore*) local de continuação da superfície litoral, com um declive de aproximadamente 0.1%.

A mobilidade existente nas zonas litorais gera perfis diferentes no Verão e no Inverno, sendo que no primeiro são de acalmia (suaves) e no segundo abruptos e com roturas.

Em orlas costeiras apoiadas em suportes rochosos, que constituem parte significativa do litoral mundial, a erosão é um processo muito complexo, cujas manifestações mais evidentes e com maior impacto nas atividades humanas, são as instabilizações em massa das arribas provocadas pela ação erosiva das ondas do mar, da escorrência superficial, da infiltração e circulação de água subterrânea ou pela imposição de vibrações e sobrecargas (fatores condicionantes externos), auxiliadas pela degradação progressiva das características de resistência dos materiais e maciços rochosos ou terrosos interessados (fatores condicionantes internos) (Marques e Andrade, 2009). É de referir que na base das arribas podem ocorrer três tipos distintos de ondas que influenciam a sua morfologia, quando estas incidem perpendicularmente à costa, a saber: as ondas estacionárias, as ondas em rebentação e as ondas já rebentadas.

Naturalmente que o tipo de onda está relacionado com a profundidade da base da arriba e a profundidade a que as ondas rebentam. Se a profundidade na base da arriba for superior à profundidade a que um tipo específico de onda pode rebentar com vertentes verticais e perpendicularmente à costa (o que acontece quando o declive da onda é superior a 1/7), formam-se ondas estacionárias. Se a profundidade for idêntica a esse valor, a onda rebenta sobre a arriba. Se a profundidade for inferior, já chega rebentada à base da arriba. Uma vez que o declive das ondas é condicionado pelo atrito com o fundo, a ocorrência de cada uma destas hipóteses depende do declive do fundo e das características da ondulação (Araújo, 2000 in Costa, 2012).

Relativamente às causas ou fatores condicionantes dos movimentos de massa de vertente, estes podem ser agrupadas em externos e internos, produzindo os primeiros o aumento das solicitações sobre os maciços, mantendo-se constante a resistência dos mesmos, e os segundos a redução da resistência dos maciços (Terzaghi, 1950).

Convém especificar que as causas externas levam ao incremento das tensões de corte ao longo da superfície potencial de rotura, não impondo redução na resistência dos terrenos, sendo que as causas internas impõem, por seu lado, a diminuição da resistência dos terrenos, não ocorrendo qualquer alteração nas condições superficiais dos taludes. De um modo sumário, as causas externas incluem: as modificações da topografia (subescavação, erosão, incisão de linhas de água, escavações ou aterros dos quais resultam aumentos de altura, comprimento ou declive dos taludes); a descarga (erosão especialmente no sopé, incisão de linhas de água, desaterros); as sobrecargas (obras ou aterros na zona superior dos taludes total ou parcialmente cobertas); as vibrações e impactos (sismos, vibrações artificiais, impactos de ondas); a emersão rápida (descida rápida do nível das águas em taludes total ou parcialmente submersos); as modificações no regime de circulação de água (precipitações intensas, aumento de peso, aumento da tensão neutra, redução de tensões efetivas por subida do nível freático). Por outro lado as causas internas dizem respeito à rotura progressiva, na sequência de descompressão e de abertura de fissuração; à alteração, meteorização, gelo-degelo, alteração pelo sal, rotura de ligações pétreas; à erosão por escoamento subterrâneo, dissolução e erosão interna (Meneses, 2011).

Segundo Meneses (*op cit.*) há processos que conduzem genericamente ao aprofundamento das escavações de sopé que criam condições para a ocorrência de instabilidades das zonas sobrejacentes da fachada das arribas.

Além disso, a pluviosidade (agente preparatório e desencadeador) é considerada o agente climático mais influente na modificação das condições de estabilidade dos taludes, sendo por isso conveniente uma avaliação pormenorizada da sua incidência diária, mensal ou anual de forma a estimar a probabilidade de ocorrência de instabilizações, naturalmente mais incidentes mas não limitadas às estações húmidas (Brissos, 2013).

Lamas (1998 in Brissos, 2013) refere, ainda, que a análise dos efeitos relativos à presença de vegetação em estabilidade de taludes reveste-se de elevada complexidade, uma vez que a sua relevância nos processos de estabilização varia consoante o tipo e características de vegetação que ocorre. A existência de vegetação rasteira impede o contacto direto das águas pluviais com o solo e reduz os efeitos erosivos das águas de escorrência, mantendo a estabilidade da encosta. Por seu lado, a vegetação de grande porte aumenta a coesão do solo por efeito das suas raízes e assume a função de obstáculo a eventuais blocos destacados que sofram deslocamento gravítico no sentido da base do talude. A vegetação representa, no entanto, um efeito nefasto para os maciços rochosos, pelo facto de proporcionar o alargamento das fraturas existentes pelas raízes, ajudando à fragmentação do maciço. Também impõem um acréscimo das tensões de corte no terreno devido ao peso próprio e transmitem tensões cíclicas no solo quando agitadas por ventos fortes (Brissos, 2013).

3 CONTEXTUALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

A região do Alentejo corresponde , aproximadamente, a um terço do território português (34,2%). Ao longo da última década, esta região apresentou um índice de crescimento médio negativo, que se deve, em grande parte, ao êxodo rural para as zonas litorais, facto observado por todo o País, mas que teve consequências mais profundas no Alentejo pela sua tipologia geográfica e demográfica, agravando o valor da densidade populacional. A contrariar esta tendência estão as sub-regiões do Alentejo Litoral que apresentam um crescimento populacional positivo, incentivado, de certo modo, pelo desenvolvimento turístico recente e pela expansão do centro urbano e industrial de Sines. Esta sub-região abrange uma faixa litoral marginada por um planalto costeiro com falésias abruptas e muito recortadas que escondem pequenas praias de areia.

Este vértice continental português, a que comodamente chamamos “o Sudoeste” (*in a, b, c das áreas protegidas de Portugal*), surge já descrito por Estrabão referindo a sua situação geográfica: *“Das costas junto ao cabo Sacro, uma é o começo do lado ocidental da Ibéria até à boca do Tagus e a outra é o começo do lado sul até ao outro rio, o Anas e sua embocadura. Ambos os rios vêm do Oriente, mas um desemboca direito até ao Ocidente e é muito maior que o outro, enquanto o Anas se dirige para o sul e limita a região entre os dois rios, a que habitam na sua maior parte os Celtas e alguns Lusitanos que foram trasladados da outra margem do Tagus pelos romanos.”*

Desde sempre foi uma zona de mariscadores do epipaleolítico/mesolítico, com os seus utensílios de pedra, homens e mulheres do neolítico que ergueram megalitos no Promontório Sacro. Além disso, havia os marinheiros-mercadores do Mediterrâneo, que aqui aportavam a que acresciam os povos vindos do interior que se fixavam em povoados fortificados. Mais tarde, os industriais romanos que exploraram os recursos naturais e criaram estruturas portuárias ou ainda posteriormente, os filhos do Islão, que desenvolveram urbes comerciais junto dos rios navegáveis, com pescadores do atum e da sardinha que por aqui montaram as suas armações. Todos por aqui passaram se bem que, tal como noutros trechos do litoral português, de urbanização apenas se possa falar já nos nossos dias (*in Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas*).

De entre as localidades litorais, surge Porto Covo, uma aldeia pitoresca de pescadores, com casas típicas, de vista privilegiada para o mar. Representa um ponto de chegada para a usufruto dos prazeres balneares, podendo igualmente ser um ponto de partida para incursões pelo interior.

Seguindo para Sul, Vila Nova de Milfontes é uma surpresa, também conhecida por “Princesa do Alentejo”. É uma vila pesqueira com uma forte ligação ao mar. Esta região possui belas paisagens naturais muito bem preservadas, constituídas, essencialmente, por belíssimas praias desertas, que se estendem ao longo duma costa recortada por rochas e falésias e dunas douradas a perder de vista. A origem do seu nome estará relacionada com o efeito provocado pela descida da maré nas paredes do forte de São Clemente, mais conhecido como castelo de Milfontes ou com o grande número de nascentes ou fontes que aqui existiam (*in Alentejo Litoral*).

No cimo da falésia, a pequena povoação da Zambujeira do Mar apresenta-se como um miradouro natural para o imenso oceano.

Foi no reinado de D. Dinis, sexto rei de Portugal, que se criou a Póvoa de Ribeira de Sesimbra, pequena aldeia de pescadores, junto ao mar. A aldeia teve um forte crescimento e tornou-se vila à época dos Descobrimentos. Sesimbra passou a ser um importante porto de construção naval e de abastecimento de embarcações. As origens do topónimo Sesimbra são desconhecidas, podendo o seu nome provir de *Zambra*, (origem romana), *Sesimbrigue*, de origem celta, Zimbra Celtibera ou ainda Caspiana. Outros julgam ter derivado de *Sisimbrion*, vocábulo grego que designaria a colónia que viveu no lugar onde serviu a Ribeira, atual Vila. Em documentos referentes ao século XI e XII a forma *Sisimbria* e *Sesimbria* já se encontram descritas.

Atualmente, a economia destas zonas centra-se, como é óbvio, no turismo e no lazer, sendo que as praias continuam a ser o principal motivo de atração, quer ao longo da costa alentejana, quer em zonas urbanas como Sesimbra e Zambujeira do Mar.

3.1 Localização Geográfica

As áreas de estudo fazem parte dos distritos de Setúbal (Sesimbra e concelho de Sines) e Beja (concelho de Odemira) (Figura 3.1). O primeiro encontra-se dividido pelas províncias tradicionais da Estremadura e do Baixo Alentejo, limitado a norte pelo distrito de Lisboa e pelo distrito de Santarém, a leste pelo distrito de Évora e Beja, a sul com o distrito de Beja e a oeste com o oceano Atlântico. Tem uma área de 5 064 km² e uma população residente de 866 794 habitantes. O distrito de Setúbal inclui 13 municípios, de entre eles, Santiago do Cacém, Sesimbra e Sines.



Figura 3.1 - Enquadramento dos municípios de Sesimbra, Sines e Odemira e respetivas áreas de estudo (adaptado de Ervital.pt)

O distrito de Beja, pertencente à província tradicional do Baixo Alentejo, limita a norte com o distrito de Évora, a leste com a província de Huelva (Espanha), a sul com o distrito de Faro e a oeste com o distrito de Setúbal e com o oceano Atlântico. Apresenta-se como sendo o maior distrito português com uma área de 10 225 km² e uma população residente de 150 287 habitantes. O distrito é composto por 14 municípios, sendo que 13 destes pertencem à sub-região do Baixo Alentejo e um, o concelho de Odemira, pertence à sub-região do Alentejo Litoral.

3.1.1 Sesimbra

Sesimbra é uma vila portuguesa pertencente ao distrito de Setúbal (Figura 3.2), região da Estremadura e sub-região da Península de Setúbal. É sede de um município com 195,47 km² de área. É limitada a norte pelos municípios de Almada e do Seixal, a nordeste pelo Barreiro, a leste por Setúbal e a sul e a oeste pelo oceano Atlântico. A vila de Sesimbra pertence à península de Setúbal, uma sub-região estatística, que abrange a parte norte do distrito de Setúbal. E encontra-se limitada a norte pelo Estuário do Tejo, e deste modo com a Grande Lisboa, e com a Lezíria do Tejo, a leste pelo Alentejo Central, a sul e oeste pelo oceano Atlântico.



Figura 3.2 - Enquadramento do município de Sesimbra, e carta militar 1:50 000 Setúbal, 38-1 Setúbal (adaptado de ultrasessimbra.com e igeoe.pt)

A Praia da Califórnia localizada na zona nascente da Baía de Sesimbra apresenta um extenso areal com cerca de 1km, sendo que, a nascente, a praia encontra-se delimitada por um conjunto de formações rochosas. Esta praia hasteia a bandeira azul da Europa há largos anos, com uma forte procura demonstrada pela utilização média diária de 5100 banhistas nos meses mais quentes do ano com impacto evidente nas estruturas geomorfológicas do local. É procurada pelas suas águas calmas, no entanto, durante a maré alta, a zona poente fica reduzida a uma fina porção de areia. Encontra-se protegida pela serra e oferece ao visitante um areal de tom claro, assim como a tonalidade da água característica desta zona (adaptado da Câmara Municipal de Sesimbra)

3.1.2 Alentejo Litoral

O Alentejo Litoral, sub-região do Alentejo, apresenta uma localização geoestratégica excelente situado entre a Área Metropolitana de Lisboa e o Algarve (Figura 3.3). Mais concretamente é limitada a norte pela Península de Setúbal e pela sub-região denominada Alentejo Central, a leste pelo Baixo Alentejo, a sul pelo Algarve e a Oeste pelo Oceano Atlântico. Compreende os concelhos de Alcácer do Sal, Grândola, Santiago do Cacém e Sines, pertencentes ao distrito de Setúbal, e Odemira (distrito de Beja). Esta sub-região representa uma área geográfica de 5261 km².

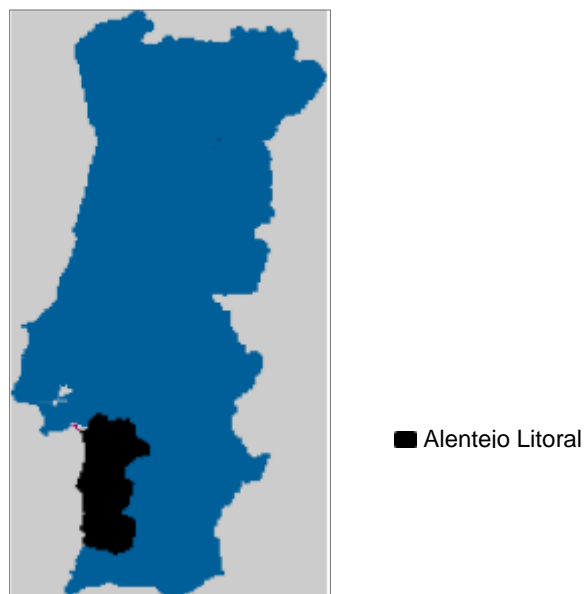


Figura 3.3 - Localização geográfica nacional da sub-região do Alentejo, Alentejo Litoral; Fonte: Pereira, 2009.

Porto Covo é uma aldeia turística, sede da segunda freguesia do concelho de Sines (cuja área é de cerca de 48,73 km²) e o seu segundo centro urbano mais importante. A parte sul do concelho (a partir da Praia de São Torpes) apresenta uma faixa litoral de assinalável preservação e beleza, com algumas das mais belas praias do país. Está integrada no Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina (PNSACV) (Figura 3.4). Este último estende-se por uma faixa estreita do litoral, Costa Sudoeste, entre S. Torpes e Burgau, com uma extensão de 110 km, sendo a área total de cerca de 131 000 ha. A Costa Sudoeste, como é denominada, por vezes, esta zona, corresponde a uma zona de interface mar-terra com características muito específicas que lhe conferem uma elevada diversidade paisagística, incluindo alguns *habitats* que suportam uma elevada biodiversidade, tanto florística como faunística.

Na aldeia de Porto Covo, a Praia Grande é uma das mais procuradas por locais e turistas situada junto à saída norte. Com bons acessos, espaçosa e abrigada pela falésia, é umas das mais frequentadas durante o Verão. Detém bandeira azul e é bastante frequentada por surfistas. Entre outras praias da região encontram-se a Praia dos Buizinhos, a Praia do Serro da Águia, estas com uma dimensão mais reduzida.

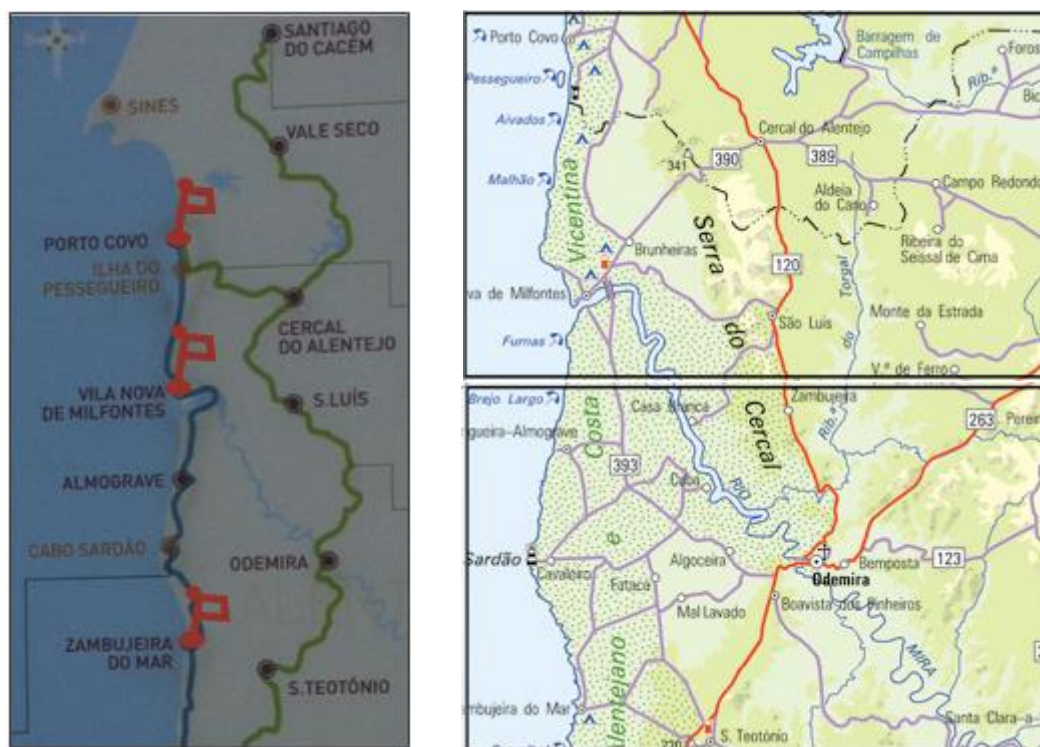


Figura 3.4 - Localização das áreas de estudo na sub-região do Alentejo Litoral (à esquerda a vermelho) e respetivas cartas militares 1:50 000 Setúbal, 45-3 Cercal e Beja, 45-3 Odemira (adaptado de igoe.pt)

Vila Nova de Milfontes (a Sul de Porto Covo) é uma freguesia do concelho de Odemira, distrito de Beja, situada na margem norte da foz do rio Mira e igualmente inserida no PNSACV. Detém uma área de 75,88 km². As suas praias caracterizam-se pela vasta extensão dos areais, contrariando as praias de outras freguesias, escondidas entre as falésias. Destacam-se as praias dos Aivados (o limite norte do concelho de Odemira), Malhão e, junto à vila, as praias do Farol, Franquia e Furnas. É de referir que o presente estudo vai incidir sobre esta última praia, quer pela sua extensão quer pela sua perigosidade.

Situada no concelho de Odemira, freguesia de São Teotónio, a Zambujeira do Mar (integrada no Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina) é uma pequena povoação que abrange cerca de 42 km². Sendo que a principal atividade, que tem crescido nos últimos anos, é

o turismo, seguida da agricultura, a pecuária e a pesca. Esta aldeia alberga um dos quatro portos do concelho de Odemira. A Praia da Zambujeira do Mar, igualmente objeto deste estudo, é assim denominada por se encontrar na zona central da aldeia, em destaque, sendo bastante popular atualmente por estar associada à prática de desportos radicais.

3.2 Enquadramento Geomorfológico

O povoamento concentrado, arranjo típico alentejano, fixa-se para sul do rio Sado e prolonga-se ao longo do Alentejo Litoral. Excetuando nos centros urbanos, a população habita em montes que têm o seu arquétipo nas vilas romanas. O sobreiro dá à paisagem a marca mediterrânica. No vale do Sado, em Alcácer, o pinheiro manso rivaliza com o sobreiro – é do pinhão que se produz artesanalmente um delicioso doce local: a pinhoadá. O predomínio do sequeiro é uma das características da paisagem, em que o montado é relevante, ainda que se cultive também o olival. Apesar da extensa exploração silvícola, também aqui se encontram campos desprovidos de arvoredo. Os pousios, que podem durar até sete anos, favorecem sobretudo a criação de gado ovino.

Este troço situa-se na plataforma litoral ocidental, que corresponde a uma superfície aplanada, de altitude média de cerca de 100 m e parcialmente modelada pela ação marinha. Entre Sines e Odeceixe, a faixa apresenta notável continuidade, sendo interrompida apenas pelo encaixe dos principais cursos de água. Muitas vezes, o limite oriental está bem definido, como por exemplo em frente de S. Teotónio onde a superfície termina de forma abrupta no pé da escarpa de falha que marca a passagem para as serras litorais de Grândola e Cercal. Noutras ocasiões, como em Odemira e Vila do Bispo, a transição é suave e muitas vezes impercetível, para uma superfície modelada pela erosão que se estende para o interior.

Na orla costeira distinguem-se duas zonas de diferentes características fisiográficas, claramente separadas pelo Cabo de Sines, que constitui um local de transição na morfologia litoral. Para N desenvolvem-se longos troços de Praia de areias limpas, limitadas por um grande conjunto de sistemas dunares e lagunas costeiras. Pelo contrário, a orla costeira a S do Cabo de Sines é recortada, maioritariamente, por arribas talhadas nas formações xisto-grauváquicas paleozóicas. Estas arribas, entre Sines e Odeceixe, cujo comando tende a aumentar para S (80-100m na região de Aljezur), bordejam por vezes pequenas praias, sendo intercaladas por areais relativamente extensos e limitadas por sistemas de dunas, e por vezes arribas fósseis recuadas.

As arribas têm perfil jovem e assumem inclinação quase vertical, promovendo fenómenos de instabilização que se traduzem em desmoronamentos pontuais. A erosão marinha é bastante acentuada na base das arribas, principalmente devido à intensa ondulação, definindo uma plataforma de abrasão que muitas vezes se encontra nua. A erosão subaérea é motivada essencialmente pela precipitação e escorrência superficial e, em conjunto com a ação marinha, assume um importante papel no recuo gradual da linha de costa (Sá Caetano *et al.*, 2014).

É pertinente referir que a Península de Setúbal (Figura 3.5) é enquadrada por dois grandes estuários: o do Tejo, a Norte, e o do Sado, a Sul. O litoral desta Península evidencia acentuada assimetria morfológica, em virtude dos diferentes regimes de agitação marítima a que está exposto e da natureza e estrutura do substrato rochoso que o suporta.

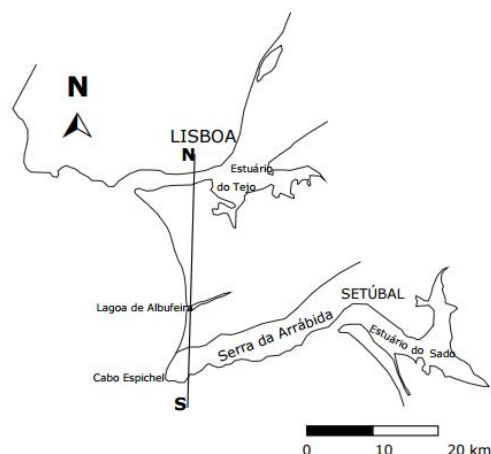


Figura 3.5 - Enquadramento da Península de Setúbal (in Ciência Viva, "A Geologia no litoral Parte II")

Na fachada ocidental, o Cabo Raso, a Norte, e o Espichel, a Sul, limitam um arco litoral de grande raio de curvatura formando a enseada Caparica - Espichel, ampla, de contorno plano suave, definida essencialmente em rochas detríticas brandas. O litoral meridional contrasta pelo vigor do relevo da Serra da Arrábida, constituída essencialmente por rochas calcárias fortemente basculadas e pela escassez de praias, que se restringem a pequenas enseadas encastradas na costa alcantilada.

Esta Península é formada por duas unidades fundamentais: o sinclinal de Albufeira, na zona norte e centro da península, e a cadeia da Arrábida, a sul. A região estudada localiza-se nesta última estrutura. A cadeia da Arrábida localiza-se na parte meridional da Península de Setúbal e prolonga-se segundo direção ENE-WSW por cerca de 30 km, desde Setúbal até ao Cabo Espichel, com uma largura média de 6 a 7 km, sendo dominada por quatro relevos principais: a serra da Arrábida, a sul, a serra de S. Luís e a serra do Louro, a norte, e a serra do Risco a sudoeste (constitui o ponto mais alto da costa continental portuguesa [380 m, no Píncaro], assim como a escarpa litoral calcária mais elevada da Europa).

A morfologia do troço meridional do litoral da Península de Setúbal, entre o Cabo Espichel e a cidade de Setúbal, é manifestamente influenciada pela estrutura rochosa e fortemente deformada da cadeia da Arrábida. Pelo contrário, o setor ocidental desta cadeia, na região do Cabo Espichel, corresponde a uma região relativamente aplanada. A marcar a separação entre estas duas unidades morfológicas distintas, encontra-se a depressão correspondente ao vale de Sesimbra.

É importante referir que todos os relevos referidos correspondem a relevos estruturais, sendo condicionados pelas estruturas geológicas presentes, assim como pela resistência à erosão das rochas que as formam (Sá Caetano *et al.*, 2014).

3.3 Enquadramento Geológico e Geotectónico

3.3.1 Litoral Alentejano

O litoral do Alentejo, que se estende desde a península de Tróia a Odeceixe, apresenta uma grande variedade de rochas sedimentares, ígneas e metamórficas que representam cerca de 380 milhões de anos da história da Terra. Neste importante património geológico estão preservadas etapas do desenvolvimento de bacias sedimentares com magmatismo associado, distribuídas por três Eras do Fanerozóico: Paleozóico, Mesozóico e Cenozóico (Figura 3.6).

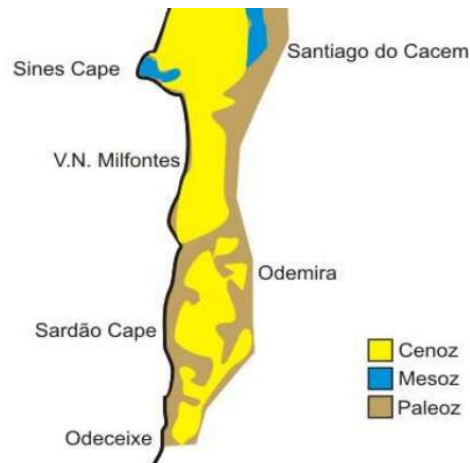


Figura 3.6 - Geologia das áreas de estudo, pertencentes ao litoral Alentejano (adaptado de Carta Geológica de Portugal, folha sul, escala 1:500 000 Serviços Geológicos de Portugal, 1992)

A planície em estudo encontra-se talhada em rochas paleozóicas, especialmente xistos e grauvaques do Grupo do *Flysch* do Baixo Alentejo (GFBA) e formações do subsector Cercal-Mira. Estas encontram-se cobertas por depósitos detríticos, normalmente homogêneos (areias finas, por vezes com seixos bem rolados), que raramente atingem os 20m de possança, testemunhando uma plataforma de abrasão marinha do Pliocénico. A sua evolução morfológica terá estado associada a várias fases de aplanção no Cenozóico e Quaternário, representadas por um conjunto de depósitos alternadamente continentais e marinhos (Feio, 1952).

As rochas que afloram ao longo do Alentejo litoral demonstram os efeitos de diferentes tensões que deformaram, e ainda deformam, a crosta continental, como consequência do movimento à escala global das placas litosféricas. No registo geológico gravado nestas rochas existe uma grande variedade de estruturas primárias que traduzem os processos sedimentares e ígneos que as originaram e também estruturas secundárias resultantes da deformação que sofreram (Pereira *et al.*, 2011).

O GFBA, de idade Paleozoica (Carbonífero), é caracterizado por uma extensa sucessão de sedimentos turbidíticos profundos segundo movimentos progressivos para SW (espessura superior a 5 km). Esta sequência inclui bancadas centimétricas a métricas de grauvaques em alternância com níveis de xistos argilosos e siltitos finamente estratificados, podendo encontrar-se níveis conglomeráticos (Oliveira *et al.*, 2013). O GFBA (formação relacionada com deposição em ambiente marinho, em bacia de sedimentação do tipo geossinclinal sobre a margem continental) é constituído pelas formações de Mértola (na base), Mira e Brejeira (no topo). As duas últimas formações afloram nas áreas em estudo.

A Formação de Mira (HMi - Serpukoviano inferior – Bashkiriano inferior) aflora na área em estudo desde Vila Nova de Milfontes até ao extremo N do Cabo Sardão. Composta por sequências turbidíticas finamente estratificadas e de baixa relação areia/argila, com predominância de bancadas de grauvaque e raros níveis conglomeráticos.

A Formação da Brejeira (HBr - Bashkiriano inferior e o Moscoviano superior) aflora desde N do Cabo Sardão até Odeceixe e ainda na faixa litoral desde a metade sul da Praia do Malhão até a N de Vila Nova de Milfontes. A sequência inclui uma sucessão intercalada de quartzitos impuros, quartzovaques e xistos argilosos com relação areia/argila relativamente elevada, subjacentes a uma sequência turbidítica clássica que se prolonga para SW. Os turbiditos tendem a ser gradualmente mais grauvacóides para SW, aumentando a relação areia/argila (Oliveira, 1984). Esta formação representa o aprofundamento local da bacia, provavelmente como resposta à onda orogénica em migração para SW.

Ainda na Era do Paleozoico (Devónico superior-Carbónico inferior), o subsector Cercal-Mira, composto pelo Complexo Vulcano-sedimentar (VS), corresponde a uma estrutura em anticlinal de idade Devónico Superior. O VS, representado perto de Grândola, surge em extenso

afloramento que se estende desde Porto Covo a próximo de Odemira, passando pelo Cercal, S. Luís e Vila Nova de Milfontes. O VS é ocupado no topo pela Formação de S. Luís constituída por xistos argilo-gresosos, filitos, xistos siliciosos, tufitos e lapilli. Rochas vulcânicas ácidas fazem igualmente parte deste setor e encontram-se intercaladas na Formação de S. Luís, podendo ser observadas na praia dos Buizinhos, em Porto Covo.

Em Odemira, estratigraficamente sobreposto a este magmatismo, surge uma sequência monótona e espessa de turbiditos do Carbónico inferior a superior (Culm). Em S. Teotónio, e estendendo-se para a linha costeira entre o Cabo Sardão e Odeceixe, incluindo também uma estreita faixa entre Vila Nova de Milfontes e Odemira, aflora uma espessa sequência monótona com repetições de pelitos e grauvaques (turbiditos) do Culm.

Esta sequência estratigráfica foi, no Carbónico superior, afetada pelo movimento de placas litosféricas que conduziram à colisão continental entre os continentes Gondwana e Laurussia (orogenia Algeaniana-Varisca), à formação da Pangeia e à inversão tectónica da bacia sedimentar da ZSP. Em consequência do encurtamento, as rochas foram deformadas, gerando-se dobramentos e fracturação. Desta forma, os planos de estratificação sofreram rotações (por vezes apresentando-se invertidos) descrevendo dobras a todas as escalas de observação, tendo-se desenvolvido planos de clivagem e, nalguns casos, os problemas de espaço geraram falhas.

As rochas sedimentares e magmáticas do Mesozóico que estão expostas no Litoral Alentejano (em Sines) são um prolongamento da sequência que aflora entre Santiago do Cacém e Grândola, incluindo o alinhamento montanhoso da Serra de Grândola, e que inclui evaporitos, margas, arenitos, basaltos, dolomitos e calcários.

Os afloramentos do Cenozóico, pertencentes à Bacia do Sado, estendem-se ao longo de uma faixa contínua entre Sines e Odeceixe. Entre estas localidades, passando por S. Teotónio, observam-se afloramentos do Pliocénico mais antigo limitados, a noroeste, pela falha de Messejana, constituídos por sequências de argilas, margas, calcários, areias e cascalheiras que se encontram discordantes sobre as rochas mais antigas do Carbónico. A passagem do Neogénico ao Plistocénico (Quaternário) é, sem dúvida, o intervalo de tempo mais bem representado ao longo do litoral, com afloramentos de areias, arenitos e cascalheiras expostos no topo das arribas rochosas que se estendem desde Sines, passando por Vila Nova de Milfontes e Odeceixe. O Plistocénico mais recente aflora em Sines e Sagres, sendo constituído essencialmente por terraços fluviais e depósitos de vertente. O Holocénico (Quaternário) está representado por aluviões modernos em Sines, Vila Nova de Milfontes e Odeceixe, e ainda por dunas, areias de dunas e de praia. A importância de movimentações tectónicas recentes (Neotectónica) está patente no Litoral Alentejano através da observação do desenvolvimento de sistemas de falhas, e consequente basculamento de blocos, que controlam o traçado das linhas de água e compartimentam a cobertura sedimentar Holocénica (adaptado de Carta Geológica de Portugal, folha sul, escala 1:500 000 Serviços Geológicos de Portugal, 1992; Notícia Explicativa da folha nº7, escala 1:200 000, Carta Geológica de Portugal, Serviços Geológicos de Portugal, 1984).

3.3.2 Península de Setúbal – Sesimbra

Por outro lado, do ponto vista geológico (Figura 3.7), a Península de Setúbal é constituída pelo sinclinal de Albufeira e pela cadeia da Arrábida, relação com a compressão de idade miocénica originada pela colisão das placas tectónicas europeia e africana que condicionam, deste modo, a morfologia do litoral nesta região.

A região axial do sinclinal de Albufeira situa-se a Norte da Lagoa de Albufeira (sendo o seu flanco norte constituído por uma série detrítica e ocasionalmente carbonatada (sucessão de areolas, siltes e argilas com níveis de calcários margosos) depositada desde o Miocénico até à atualidade, inclinando para Sul e cortada pelo Estuário do Tejo). No flanco Sul afloram camadas mais antigas, do Cretácico à atualidade, formando uma série essencialmente carbonatada e detrítica. Já na Cadeia da Arrábida têm maior expressão rochas mais antigas (Jurássicas) predominando as litologias carbonatadas e margosas. Estas rochas podem ser observadas no terço meridional do arco Caparica-Espichel e no litoral Sul da Península de Setúbal.

A compressão tectónica que originou os relevos da Arrábida ocorreu durante o Miocénico e em duas fases compressivas principais: a primeira, há cerca de 17.6 milhões de anos (Ma.); a

segunda, mais recente, por volta dos 6-7 Ma. Estes movimentos deformaram fortemente as seqüências sedimentares de idade mesozóica e cenozóica, essencialmente constituídas por calcários, dolomitos e margas, intercaladas com algumas unidades detríticas de arenitos e conglomerados, e deram origem a vários deslocamentos tectónicos por cavalgamento, bem como a formação de três estruturas anticlinais: do Formosinho, do Viso e da Serra de S. Luís.

As escarpas rochosas que se percorrem ao longo da costa, desde a região do Cabo Espichel, são bruscamente interrompidas pelo vale ou depressão de Sesimbra. A ocorrência de uma depressão nesta região deve-se à presença de uma estrutura geológica complexa, cuja origem é mais antiga e não relacionada com a formação da cadeia da Arrábida, a que se dá o nome de diapiro (ou estrutura diapírica). A região abrangida pelo vale de Sesimbra encontra-se, portanto, adicionalmente deformada pela sobreposição de mecanismos de deformação associados à evolução da estrutura diapírica e à compressão tectónica que originou o levantamento da cadeia da Arrábida. Esta depressão é controlada por um sinclinal dissimétrico, em cujo eixo afloram rochas cretácicas de natureza essencialmente arenítica (Sá Caetano *et al.*, 2014)

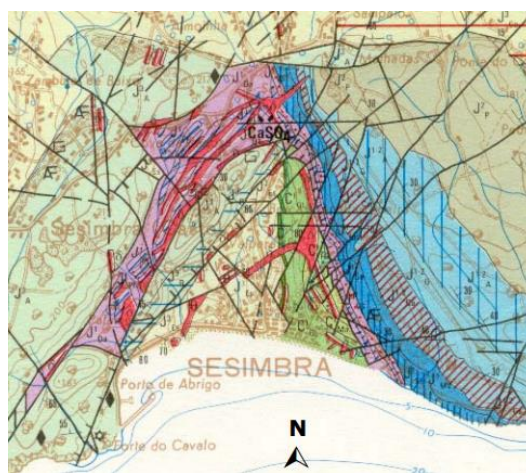


Figura 3.7 - Excerto da Carta Geológica de Portugal, Folha 38-B (Setúbal (IGM, 1994) à escala 1:50.000 (in Ciência Viva, "A Geologia no litoral Parte II")

No bordo Oeste deste sinclinal (Figura 3.8), as colinas do Castelo e da Forca, apresentam-se elevadas devido à natureza mais resistente do substrato que as constitui, essencialmente carbonatado. Limitando o sinclinal ocorrem afloramentos das formações margosas e evaporíticas do Hetangiano (Jurássico inferior). Estas rochas, extremamente plásticas e de natureza mais branda, favoreceram o processo erosivo, conduzindo ao desenvolvimento de vales. As rochas evaporíticas desta formação têm uma componente gipsífera importante.

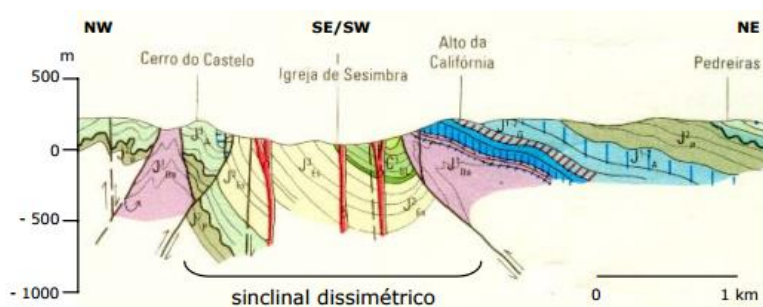


Figura 3.8 - Corte geológico da "depressão de Sesimbra". Excerto do perfil A-B/C-D da Carta Geológica de Portugal, Folha 38-B (Setúbal) (IGM, 1994) à escala 1:50.000 (in Ciência Viva, "A Geologia no litoral Parte II")

No final do século XIX, explorou-se gesso na região de Sesimbra, sendo ainda hoje observáveis (Figura 3.9) os taludes de escavação provocados por esta atividade, abandonada nos dias de hoje.



Figura 3.9 - Localização de antiga zona de exploração de gesso na Praia da Califórnia, Sesimbra

Neste mesmo local, podem ser encontrados argilitos e margas argilosas com gesso, de cor avermelhada e acastanhada, ocorrendo este mineral disperso na massa argilosa ou em palhetas, placas fibrosas e agregados granulares. As massas de gesso incluem frequentemente cristais de quartzo bipiramidados (Sobreira, 1995 e Teixeira & Gonçalves, 1980 in Cruces *et al.*, 2002).

3.4 Enquadramento Hidrológico e Climatológico

O Litoral Alentejano pode ser considerado das zonas costeiras melhor conservadas possuindo três Reservas Naturais desde o Estuário do Sado até às escarpas do PNSACV, representando mais de 130 Km de paisagem costeira.

Compreendendo uma área de 23.160 ha, a Reserva Natural do Estuário do Sado, cerca de 13.500 ha, são de área estuarina e os restantes, cerca de 9.500, são constituídos por zonas húmidas marginais convertidas para a salinicultura, para piscicultura e para a orizicultura, também por áreas terrestres e por pequenos cursos permanentes de água doce. Área protegida de uma riqueza enorme apresenta uma diversidade, que se estende da vegetação de água salgada que margina o estuário, o sapal, aos lodos que juntamente com a dinâmica das marés são abrigo das inúmeras espécies que aqui se encontram.

As lagoas de Santo André e da Sancha, situadas no litoral dos concelhos de Santiago do Cacém e de Sines, constituem um sistema lagunar costeiro de relevante importância biológica, incluindo interessantes aspetos ecológicos, ictiológicos, botânicos e, muito particularmente, ornitológicos. O complexo dunar envolve um importante papel de proteção destas lagoas, suportando uma flora e vegetação característica que se apresenta em bom estado de conservação, incluindo espécies endémicas consideradas vulneráveis. A área em consideração, com um total de 5370 ha, estende-se ao longo de cerca de 15 km, desde o limite sul da povoação da lagoa de Santo André até ao limite norte da área ocupada pelo Complexo de Sines, abrangendo uma faixa terrestre de largura variável de 2 km a 3 km e uma faixa marítima de 1,5 km de largura. Os limites da área foram definidos tendo como base as zonas húmidas e áreas alagadas correspondentes, bem como as zonas adjacentes responsáveis pela manutenção das lagoas e “poços”. Atualmente, esta área encontra-se sujeita a múltiplos fatores de pressão sobre o meio natural, sob a forma da emissão de efluentes, caça, pesca, turismo e construção, que impõem medidas de conservação adequadas.

Na lagoa da Sancha, pequena lagoa costeira, separada do mar por uma faixa dunar estreita, muito raramente se estabelece comunicação entre os dois sistemas. Encontra-se quase totalmente coberta por bunho, junco e caniço. Esta lagoa é alimentada por uma pequena bacia hidrográfica, de cerca de 40 Km² cujo principal tributário é a Ribeira da Sancha. Como se referiu, raramente se verifica a abertura ao mar.

Após um curto período como Área de Paisagem Protegida, foi criado em 1995 o Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina abrangendo a faixa litoral dos concelhos de Sines, Odemira, Aljezur e Vila do Bispo. De paisagem muito diversificada, estende-se por 74 786 ha,

salientando-se, pela sua importância a nível europeu, as arribas, matos sobre areias consolidadas e linhas de água, além de lagoas temporárias. De área recortada no interior, fazem parte dos seus domínios 2 km marítimos paralelos à costa. Em terra, as arribas altas contrastam com as praias escavadas na rocha e barrancos profundos, cursos de água, charnecas, campos de regadio e matas produtivas. Apesar da extremidade sul do parque se encontrar já no Algarve, as referências anteriores dizem respeito à região Norte nos concelhos de Sines e de Odemira.

O clima e as recentes mudanças climáticas podem ser considerados fatores desencadeadores de instabilidade em arribas. Em matéria de alterações climáticas, distinguem-se dois tipos de causas: naturais ou inerentes à atividade do homem. Relativamente às primeiras, estas são, por vezes, de difícil deteção e intervenção. Outras encontram-se intimamente relacionadas com a atividade humana, principalmente através do lançamento na atmosfera de gases com efeito de estufa (resultado, por exemplo, da combustão de carvão e petróleo, da atividade agrícola, nomeadamente da criação de gado) e também das modificações do albedo terrestre devido à desflorestação e também ao crescente fenómeno de urbanização. Pode-se, pois, afirmar que o relevo, o clima, a natureza das rochas e a vegetação (uma consequência dos outros fatores apontados) interagem, determinando não só o tipo e a intensidade dos processos morfogenéticos e sedimentogenéticos, mas também como os seus efeitos. É possível estabelecer uma correspondência entre uma região com determinadas características geomorfológicas e climáticas, e os agentes e processos atuantes nessa mesma região, sendo estas relações definidas através de sistemas morfoclimáticos de erosão e sedimentação.

Os processos próprios de uma zona climática (ações e mecanismos que deixam marcas nos sedimentos e nas rochas sedimentares) definem um conjunto de características geomorfológicas que distinguem uma determinada zona climática de outras marcadas por climas distintos.

A zona do Alentejo ilustra o sistema morfoclimático mediterrâneo, com forte influência atlântica, visto se encontrar na transição das regiões de clima temperado húmido para as subáridas. É caracterizado por verões quentes e secos, onde imperam solos vermelhos, e floresta de folhagem perene, com árvores como são a azinheira (*Quercus rotundifolia*) e o sobreiro (*Quercus suber*) (Foucault e Novais, 1996).

A título exemplificativo, e com interesse para este estudo, refira-se o caso de Porto Covo que tem um clima quente e temperado. No inverno existe uma maior pluviosidade comparativamente com a época de verão. De acordo com a classificação de Köppen e Geiger, o clima é classificado como Csa. A temperatura média é de 16.9 °C, com uma pluviosidade média anual de 563 mm (Gráfico 3.1).

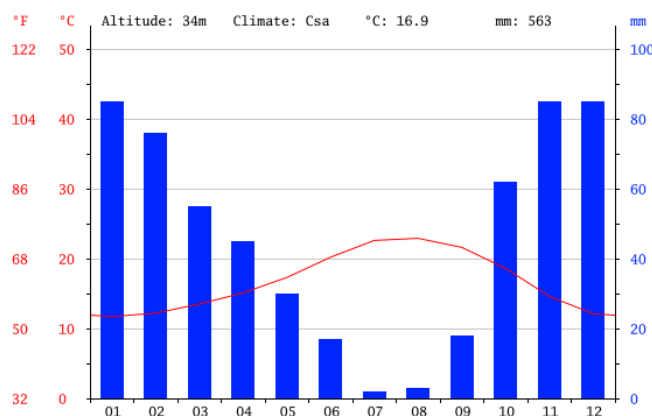


Gráfico 3.1 - Variação climática anual, na região de Porto Covo (adaptado de Climate-Data.org)

O valor de 2 mm apresentado no Gráfico 3.1 refere-se à precipitação do mês de Julho, o mês mais seco. Grande parte da precipitação cai em Janeiro, rondando os 85 mm. A temperatura média do mês de Agosto é de 22.9 °C, o mês mais quente do ano. Em Janeiro, a temperatura média é 11.7 °C, que representa a temperatura média mais baixa de todo o ano. Quando comparados, o mês mais seco tem uma diferença de precipitação de 83 mm em relação ao mês mais chuvoso. Sendo que as temperaturas médias têm uma variação de 11.2 °C durante o ano.

Igualmente, Vila Nova de Milfontes apresenta um clima quente e temperado. O verão apresenta menos pluviosidade que o inverno. De acordo com a Köppen e Geiger, o clima é classificado como Csa, e 16.8 °C é a temperatura média nesta região. O valor da pluviosidade média anual é de 548 mm (Gráfico 3.2).

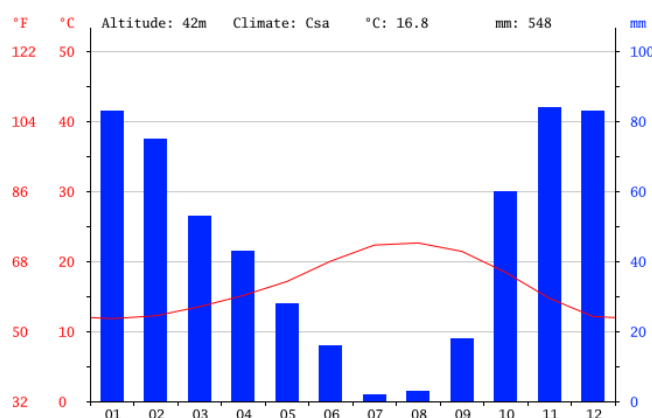


Gráfico 3.2 - Variação climática anual, na região de Vila Nova de Milfontes (adaptado de Climate-Data.org)

O mês mais seco é Julho, com 2 mm de precipitação. O mês de Novembro é o mês com maior precipitação, apresentando uma média de 84 mm. Agosto é o mês mais quente do ano com uma temperatura média de 22.6 °C. Ao longo do ano Janeiro tem uma temperatura média de 11.8 °C. É a temperatura média mais baixa do ano. O valor de 82 mm é a diferença de precipitação entre o mês mais seco e o mês mais chuvoso. Durante o ano as temperaturas médias variam 10.8 °C.

A povoação da Zambujeira do Mar apresenta, identicamente, um clima quente e temperado. Segundo a Köppen e Geiger, a classificação do clima é Csa, com uma temperatura média de 16.8 °C. A pluviosidade média anual é de 524 mm (Gráfico 3.3).

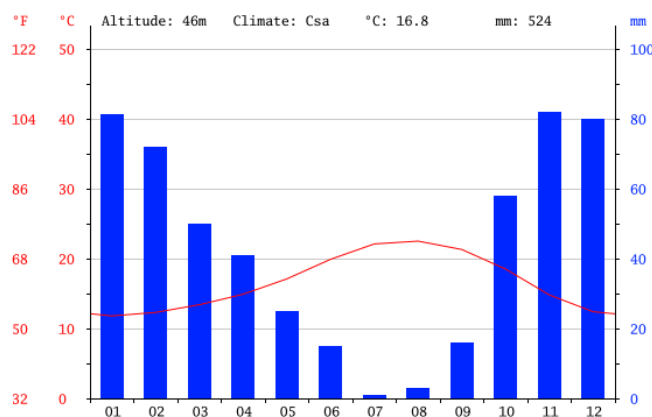


Gráfico 3.3 - Variação climática anual, na região da Zambujeira do Mar (adaptado de Climate-Data.org)

O valor referente a 1 mm refere-se à precipitação do mês de Julho. Novembro apresenta uma média de precipitação da ordem dos 82 mm. A temperatura do mês de Agosto é de 22.5 °C, o mês mais quente do ano. A temperatura média em Janeiro é de 11.8 °C. Durante o ano é a temperatura média mais baixa. Quando comparados, o mês mais seco tem uma diferença de precipitação de 81 mm em relação ao mês mais chuvoso. As temperaturas médias variam 10.7 °C durante o ano.

Em Sesimbra, o clima é, do mesmo modo, quente e temperado (morfoclimático mediterrâneo). Em Sesimbra, o verão apresenta menor pluviosidade comparativamente com o inverno. De acordo com Köppen e Geiger, o clima é classificado como Csa. A temperatura média é de 16.6°C, e a média anual de pluviosidade ronda os 679 mm (Gráfico 3.4).

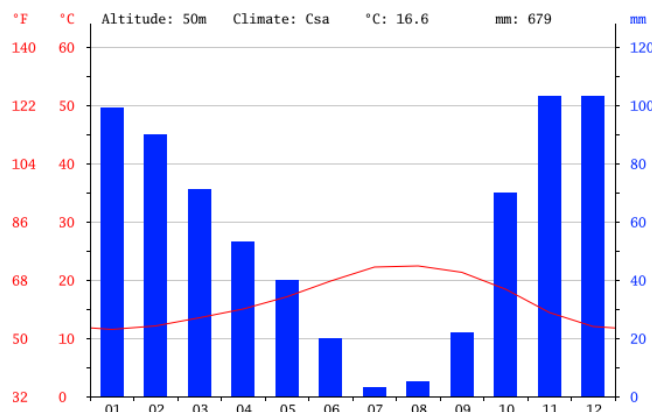


Gráfico 3.4 - Variação climática anual, na região de Sesimbra (adaptado de Climate-Data.org)

O mês mais seco é Julho com 3 mm. Apresentando uma média de 103 mm, o mês de Novembro é o mês de maior precipitação. A temperatura média do mês de Agosto, o mês mais quente do ano, é de 22.4 °C. Ao longo do ano, Janeiro tem uma temperatura média de 11.5 °C. Durante o ano é a temperatura média mais baixa. O mês mais seco tem uma diferença de precipitação 100 mm em relação ao mês mais chuvoso. As temperaturas médias têm uma variação de 10.9 °C durante o ano.

Em síntese, os fenómenos geomorfológicos centram-se no estudo e descrição do relevo terrestre, continental e marinho, consequência da ação dos agentes atmosféricos sobre a superfície. São, portanto, resultado da dinâmica da litosfera como um todo, integrando o conhecimento, primeiramente de outros ramos da Geografia como a Climatologia e a Hidrografia.

É, pois, importante referir que a dinâmica litoral da fachada meridional da Península de Setúbal é substancialmente diferente da observada no litoral ocidental, dado o facto de este troço se encontrar, de certo modo, escudado pelo Cabo Espichel, abrigando-o da ação direta da agitação marítima (com rumo de Norte para Noroeste) que predomina ao longo de toda a costa ocidental portuguesa. No entanto, encontra-se completamente exposto à ondulação com rumos para Sul e Oeste.

Assim, de um modo geral, ao longo da costa da Arrábida, a agitação marítima é fraca durante todo o ano, com exceção de alguns dias de temporais de Sudoeste, comuns no Inverno. "A circulação sedimentar nas praias da Costa da Arrábida processa-se essencialmente no sentido transversal. A corrente de deriva litoral é incapaz de transporte eficaz, uma vez que os sedimentos são retidos nas constantes irregularidades desta costa. A variação textural das praias de enseada depende, portanto, do leque dimensional disponível na praia submarina." (Teixeira, 1990 in Cruces *et al.*, 2002).

De mencionar que a configuração da enseada de Sesimbra favorece, em condições naturais, para além do transporte transversal de sedimentos (Figura 3.10- seta a vermelho), as trocas entre a praia submarina e a praia emersa, além do transporte longitudinal num circuito fechado em sentido anti-horário (Figura 3.10 – seta azul a tracejado).

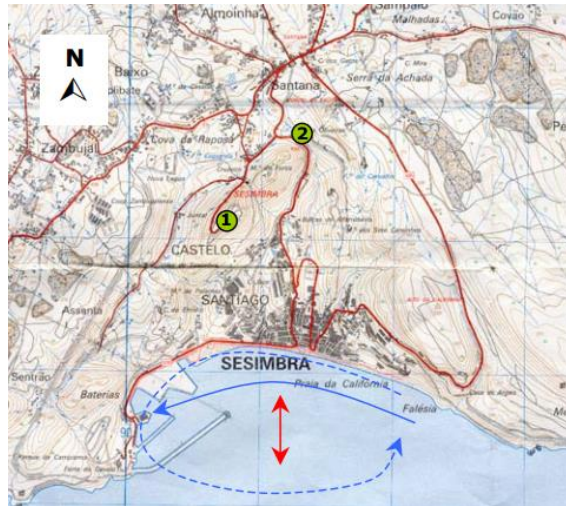


Figura 3.10 - Enseada de Sesimbra. A- excerto da Carta Militar de Portugal nº 464, à escala original 1:25.000 (IGE, 1994), reduzida para 1:50.000 (in Cruces *et al*, 2002))

Ponto 1- Castelo de Sesimbra; Ponto 2- Antiga exploração de Gesso (visualiza-se o mesmo tipo de exploração junto às arribas da Praia da Califórnia no sentido nascente)

No entanto, a construção (e extensão) dos molhes de proteção ao porto de abrigo de Sesimbra, cortou a continuidade deste circuito (Figura 3.10 – seta azul a cheio), favorecendo a acumulação de areias na região ocidental da enseada (assoreando o porto) e a erosão das praias orientais (Praia da Califórnia). As condições de navegabilidade do porto mantêm-se, atualmente, à custa de dragagens.

4 AVALIAÇÃO GEOTÉCNICA PORMENORIZADA E DE RISCO NAS PRAIAS SELECIONADAS

As zonas costeiras assumem uma importância estratégica crescente em termos económicos, sociais, ambientais e mesmo culturais, devido à disponibilidade hídrica, facilidade de transportes e proximidade dos maiores centros económicos. O crescimento populacional que se tem vindo a verificar nestas zonas impõe a necessidade de uma correta avaliação do risco associado à instabilidade de arribas acompanhado, naturalmente, de um estudo de caracterização geotécnica e de estabilidade de grande pormenor. Deste modo, trabalhos de caracterização geomecânica de maciços rochosos complementados por análises de estabilidade de taludes, zonamentos geomecânicos e cartografia de risco devem ser utilizados para este fim.

A sequência metodológica para avaliação de risco de instabilidade de arribas utilizada neste trabalho enquadra-se na necessidade de implementação de uma estratégia integrada e proativa de gestão do risco para as zonas costeiras do país.

Pretende-se, mediante aplicação de técnicas de análise de risco, elaborar uma lista de recomendações visando reduzir o risco a níveis aceitáveis. Com esta finalidade, efetuou-se uma abordagem faseada, em três fases.

Numa primeira fase, de avaliação preliminar de risco, que consiste na determinação do índice preliminar de risco (IR) para os locais em estudo, com recurso ao uso da equação de risco (1) em que a Perigosidade aparente é definida pelo produto entre a Probabilidade de ocorrência (PO) e a Magnitude (M), e a fração entre o Dano potencial (D) e a Capacidade de resposta (C) representa a Vulnerabilidade. Esta fase permite obter uma rápida priorização dos riscos de instabilidade das arribas, através de uma avaliação semi-quantitativa.

$$\text{Índice de Risco(IR)} = \frac{\text{Probabilidade de ocorrência(PO)} \times \text{Magnitude(M)} \times \text{Dano potencial(D)}}{\text{Capacidade de resposta(C)}} \quad (2)$$

É importante mencionar que cada termo da equação foi categorizado numa escala de 1 a 5 (com a significância respetivamente de: não significativa, reduzida, média, elevada e muito elevada) que, de acordo com a equação (1), gera os valores de risco correspondentes ao perigo em análise.

A matriz de cálculo dos valores de IR para todas as situações teóricas possíveis, cujos resultados variam entre um mínimo de 0.2 e um máximo de 125, foi recalculada para o intervalo [0;1] para uma melhor perceção da significância dos valores obtidos, com definição de 5 classes de igual amplitude. Pretende-se, assim, uma maior discriminação dos valores teóricos possíveis, por comparação com Costa *et al.*, (2009) (Sá Caetano *et al.*, 2014).

Permitindo a primeira fase estimar um risco preliminar inerente aos locais estudados e numa segunda fase na avaliação geotécnica detalhada, é requerida uma pormenorizada avaliação quanto ao perigo de instabilidade. Esta é fundamentada por estudos de caracterização geotécnica e geomecânica e análise das condições de estabilidade quanto aos mecanismos de rotura de modo a avaliar e prever o comportamento dos materiais em cada zona da arriba.

No seguimento destes trabalhos, pode ser ainda considerada uma terceira fase com vista à elaboração de uma proposta de mitigação do risco. Esta fase consistiu no uso do *software RockPath* (Brissos *et al.*, 2015) que possibilitou a obtenção de uma previsão preliminar quanto às trajetórias de queda de blocos nos locais definidos como instáveis. Esta abordagem detalhada contribui para uma melhor definição do risco associado à queda de blocos em arribas e para a sugestão de medidas concretas de mitigação.

É de referir particularmente, e no que respeita ainda à avaliação preliminar de risco que esta compreende a classificação dos locais estudados com base no Índice de Risco, localização geográfica, registo fotográfico e considerações associadas a possíveis situações de instabilidade identificadas, em função da respetiva vulnerabilidade associada à ocupação de pessoas e bens materiais.

Deste modo, resulta um conjunto de locais avaliados em termos de IR que permite o apoio à decisão relativamente aos locais a avaliar na segunda fase.

A Praia da Califórnia foi classificada como apresentando risco muito elevado, de entre 28 locais inspecionados por Costa *et al.*, (2009) e Sá Caetano *et al.*, (2014) quer por via marítima como em terra, e categorizados em termos de Perigosidade Aparente, Vulnerabilidade e Índice de Risco. Por apresentar um IR elevado e se encontrar situada junto a uma área urbana de grande dimensão, esta praia carece de uma segunda avaliação prioritária.

No litoral Alentejano dos 31 locais inspecionados por Sá Caetano *et al.*, (2014), os locais selecionados para uma avaliação geotécnica detalhada e classificados como apresentando risco muito elevado correspondem à Praia da Zambujeira do Mar e Praia dos Buizinhos. Os locais com risco elevado correspondem à Praia das Furnas, Praia Grande e Praia do Serro da Água igualmente seguidos na segunda fase.

O estudo geológico-geotécnico detalhado das arribas, descrito também como segunda fase, consistiu na avaliação das propriedades geométricas e mecânicas das descontinuidades, sendo que cada local estudado foi alvo de inspeção pormenorizada da crista (exceção feita à Praia das Furnas e à Praia da Califórnia dada a elevada dificuldade de acesso).

Relativamente ao Alentejo Litoral, troço Sines-Odeceixe, a avaliação de estabilidade de taludes foi realizada com base em técnicas de análise cinemática qualitativas (com base na identificação de famílias de descontinuidades tidas como representativas) e quantitativas com base em índices de rotura para os três mecanismos de rotura avaliados. Análises de sensibilidade à direção, inclinação e ângulo de atrito para diminuição do erro derivado da aplicação das análises referidas anteriormente, por se tratarem de arribas com perfis irregulares.

Relativamente à Praia da Califórnia, pertencente ao troço Espichel-Sado, o estado de fracturação dos maciços rochosos estudados em função de um enquadramento geológico e geomorfológico distinto do observado no litoral Alentejano, resultou na obtenção de um menor número de registos para análise de estabilidade de taludes. Assim, para estas praias, não foi realizada a análise cinemática quantitativa, que seria muito pouco significativa, mas apenas a análise cinemática qualitativa aplicada às arribas estudadas (Sá Caetano *et al.*, 2014).

É sabido que a inclusão de avaliações de risco de instabilidade de arribas, em zonas urbanas, nas políticas de Ordenamento do Território e Urbanismo generalizou-se com a criação dos Planos de Ordenamento da Orla Costeira (POOC). Esta preocupação reflete a crescente tomada de consciência relativamente ao risco induzido por instabilizações em arribas função, não só do perceptível aumento da taxa de ocupação da costa portuguesa, mas também do historial de acidentes em zonas de praia.

Dadas as condicionantes muito específicas das praias urbanas, nomeadamente em termos de interesse turístico da região e valor ambiental das arribas, é essencial encontrar soluções que permitam manter um equilíbrio em termos de mitigação de risco e manutenção do enquadramento social, económico e ambiental. O contexto urbano determina que a caracterização da perigosidade inclua forte suporte geológico-geotécnico no sentido de otimizar planos de mitigação e monitorização do risco.

Relativamente à utilização da aplicação *RockPath* nas praias urbanas da Califórnia e Zambujeira do Mar convém especificar as valências e a pertinência do *software* empregue.

Neste trabalho, apresentam-se dois casos de estudo, em Sesimbra e na Zambujeira do Mar, cujo contexto urbano obriga ao desenvolvimento de estudos geomecânicos pormenorizados e promove a procura de soluções para mitigação do risco associado. Estas soluções passam, nomeadamente, pela elaboração de cartografia temática baseada na avaliação preliminar das áreas de propagação de quedas de blocos, estimadas através de modelos friccionais implementados por meio de uma aplicação informática concebida para o efeito. Esta ferramenta, a aplicação *RockPath*, poderá ser utilizada não só na hierarquização de sítios prioritários para intervenção, mas também como ferramenta de apoio ao dimensionamento de estruturas de retenção de quedas de blocos e otimização de planos de monitorização. Salienta-se que a modelação quantitativa do risco de queda de blocos, a nível regional, está associada a duas componentes: a suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertente e a modelação das áreas de propagação e distâncias de *runout*.

i. Aplicação RockPath

A aplicação *RockPath* constitui-se como uma ferramenta para a estimação preliminar de áreas potenciais de propagação de blocos rochosos em queda através da utilização de modelos digitais de terreno (MDT) e aplicação do designado “Método do Cone” (Jaboyedoff & Labiouse, 2003) e de outros modelos.

Para este efeito, foi utilizada a linguagem Microsoft Visual Basic © 10 que trabalha com ficheiros de *input* em formato matricial (ASCII *grid files*), gerando resultados georreferenciados e integráveis em ambiente SIG, para utilização noutros modelos. Esta aplicação foi desenvolvida com o objetivo de complementar avaliações de suscetibilidade/risco a movimentos de vertente a nível regional ou local.

De entre os recursos disponíveis destacam-se as seguintes funcionalidades:

❖ Modelação de áreas de propagação de quedas de blocos

Independentemente da metodologia escolhida para aferir potenciais fontes de instabilização do terreno, a aplicação *RockPath* permite introduzir a origem do movimento como uma célula (ou conjunto de células) sobre o MDT da área de estudo a partir da interface gráfica, ou mediante introdução direta de coordenadas. O ponto de origem é tido como o vértice de um cone teórico calculado a partir da vetorização da linha de energia. A abertura do cone no plano xy (ϕ_{abt}) é definida pelo limite lateral das áreas potenciais de propagação que, na aplicação, é condicionada pelo valor das células na vizinhança à origem do movimento.

A diminuição da incerteza deste tipo de modelação está dependente tanto da localização das fontes e valor do ângulo ϕ_p , que sempre que possível devem ser aferidos no campo, como das dimensões da célula do MDT, em que uma maior resolução induz menor incerteza;

❖ Avaliação da velocidade e energia dos blocos

Revela-se importante que, acessoriamente às áreas de propagação e distâncias de *runout*, se definam algumas propriedades dos blocos que permitem gerir e complementar as simplificações inerentes a estes modelos, nomeadamente o cálculo da velocidade translacional (v_{trans}) e a energia cinética translacional (E_{kt}). A rotina implementada regista nas zonas de sobreposição das áreas de propagação estimadas o valor de v_{trans} (x,y) mais elevado de entre todos os calculados.

Com base num valor estimado para a massa (kg) dos blocos suscetíveis de sofrer instabilização em cada fonte, é possível estimar o valor da energia cinética translacional em cada ponto das áreas potenciais de propagação;

❖ Definição da direção de fluxo

A trajetória de blocos em queda é, frequentemente, influenciada pelas direções preferenciais de fluxo em zonas acidentadas, tornando-se também numa possível abordagem na modelação desta problemática (Dorren e Seijmonsbergen, 2003). O resultado é um caminho correspondente ao perfil topográfico de maior declive, e que pode ser sobreposto às áreas potenciais de propagação obtidas pelo método do cone;

Em suma, a potencialidade de aferir áreas de propagação, apenas com base na dissipação de energia por atrito simples, permite alcançar uma avaliação expedita conservativa, obtendo-se uma modelação do lado da segurança. A metodologia referida pode, no entanto, sobrestimar a extensão lateral das zonas passíveis de serem atingidas por quedas de blocos, e consequentemente, a distância máxima alcançada em taludes sub-verticais sobranceiros a zonas relativamente planas, como é o caso de arribas costeiras.

Os modelos obtidos por aplicação do método do ângulo de sombra permitem obter resultados em que é considerada a energia dissipada no impacto dos blocos com a base do talude, obtendo-se uma redução na distância máxima alcançável pelos blocos. Porém, uma das condicionantes encontra-se relacionada com a dificuldade em definir as zonas de propagação inicial a partir da fonte a nível cartográfico. O método “da linha de energia” modificado que corresponde à definição de uma área potencial de propagação representa, em teoria, a situação mais conservativa para qualquer tipo de morfologia. O processamento desta ferramenta é mais complexo que os modelos anteriores (com correspondente diminuição da velocidade de execução), sendo que a sua utilização deve ser direcionada à confirmação de situações ambíguas. (Brissos *et al.*, 2015).

No caso do presente estudo o *software RockPath* foi aplicado nas Praias da Califórnia e da Zambujeira do Mar, recorrendo apenas às funcionalidades de modelação de áreas de propagação de quedas de blocos através do método do cone e avaliação da velocidade e energia dos blocos. Fez-se posteriormente uma análise dos dados recolhidos, conforme simulações, com o intuito de avaliar possíveis áreas suscetíveis de serem afetadas por quedas de blocos.

ii. Sistema de Avaliação de Qualidade de Taludes Rochosos

Atualmente, nesta área de estudo, não existem consolidados quaisquer sistemas e técnicas de avaliação de estabilidade de taludes rochosos possíveis de aplicar na fase de exploração dos mesmos. Neste trabalho procurar-se-á sistematizar informação sobre um sistema para a obtenção de um índice de qualidade aplicado a taludes predominantemente rochosos, e respetiva aplicação a um caso de estudo. Este índice permitirá estabelecer modelos de previsão de degradação do talude ao longo do tempo que integrarão uma ferramenta global de gestão sustentável.

O sistema concebido e desenvolvido considera nove categorias de fatores, hierarquizados por grau de importância e influência através da atribuição de pesos. Estes pesos foram estabelecidos através do tratamento estatístico de um inquérito, distribuído a vários profissionais/peritos da área da geotecnia.

O índice final do talude varia entre 1 e 5, correspondendo a taludes em muito bom e muito mau estado, respetivamente. Uma das mais-valias é a identificação dos fatores com maior relevância na qualidade dos mesmos de modo a implementar medidas de manutenção e/ou de conservação de forma sustentada e eficaz realizando, em simultâneo, uma gestão dos recursos existentes.

Já na década de 50 do século XX, Terzaghi apresentou uma classificação que agrupa as principais causas associadas à instabilidade de taludes numa tipologia de causas internas, intermédias e externas, sendo que todas elas podem ocorrer em simultâneo. No que respeita às primeiras incluem-se as que resultam numa redução da resistência ao corte, ou seja, com alteração das propriedades do terreno. Relativamente às causas intermédias, estas surgem através da assimilação das causas internas e externas. Finalmente, as causas externas agrupam as alterações geométricas, vibrações de origem natural ou artificial, entre outras

A definição dos parâmetros necessários para a realização de uma avaliação fiável de taludes de escavação em rocha conduziu ao estabelecimento em sete fatores relevantes para posterior análise, como apresentado na Tabela 4.4.

É de referir que esta abordagem garante uma cotação parcial para cada um dos fatores, permitindo assim uma perceção rápida e funcional dos taludes em maior risco bem como quais os parâmetros que mais contribuem para a degradação, fornecendo indicações eficientes acerca dos taludes onde é mais urgente intervir e em que aspetos incidir essa mesma intervenção. Como já referido acima, a metodologia para a avaliação de cada fator consiste na definição de, no máximo, 5 intervalos de variação para cada parâmetro e respetiva cotação que varia de 1 a 5.

Quanto à avaliação do fator geológico, em particular do parâmetro da avaliação do potencial de queda de blocos, utilizou-se o sistema de classificação do risco associado à queda de blocos em taludes - RHRS (Rockfall Hazard Rating System), desenvolvido pelo departamento de transportes de Oregon (EUA) segundo Pierson *et al.*, 1990 (in Pinheiro *et al.*, 2014). Este método inclui 8 categorias que são cotadas através de uma escala exponencial que varia desde 3 até 81, correspondendo assim uma cotação final mais elevada a um talude com maior risco de queda de blocos. Segundo Budetta (2004), e após a realização de um inventário preliminar, este apresentou algumas modificações ao sistema (RHRSm), através da adição de duas novas categorias.

O sistema de classificação referido tem sido objeto de alguns ajustamentos ao longo dos últimos anos, decorrente da existência de necessidades e condições geotécnicas e ambientais desiguais em diversas zonas geológicas. Deste modo, emergiu a necessidade de realizar algumas alterações ao RHRSm proposto por Budetta (2004). A este sistema adaptado atribuiu-se a designação de RHRSm2.

Note-se que o sistema inicial apresentava 3 níveis de risco, o baixo, o médio e o elevado. No entanto, para facilitar a integração deste sistema na metodologia geral do índice de qualidade, foi necessário considerar uma divisão de 5 intervalos de risco (Tabela 4.1). Relativamente às categorias em avaliação, foram adicionadas novas categorias com o intuito de completar o conceito final do sistema RHRSm. Estas categorias dizem respeito à altura e inclinação do talude, a sua zona de influência, a condição estrutural, a alteração do maciço, a erosão, o tamanho, o volume, a quantidade e irregularidade dos blocos caídos (a quantidade de blocos influencia diretamente a probabilidade de queda e o risco associado a esta instabilidade; quanto mais blocos soltos, maior a probabilidade de acidentes), a presença de água e o clima (precipitações elevadas poderão criar fenómenos desestabilizadores nos taludes e aumentar a probabilidade associada à queda de blocos).

Em síntese, poderá resumir-se à tabela seguinte:

Tabela 4.1 - Resumo da classificação do sistema RHRSm2 e respetiva conversão para o índice geral do talude

| Classificação geral do talude | | | Índice geral |
|-------------------------------|---------------|-------------|--------------|
| Pontuação RHRS | Grau de risco | Atuação | |
| <54 | Muito baixo | - | 1 |
| 54-162 | Baixo | Médio prazo | 2 |
| 163-324 | Médio | Curto prazo | 3 |
| 325-486 | Elevado | Urgente | 4 |
| >487 | Muito alto | Imediata | 5 |

No caso do presente estudo, para a avaliação do índice de qualidade para as praias selecionadas, e com o intuito de classificar o nível/grau de risco do talude, que aprecia a condição dos taludes em análise, foram considerados, apenas, sete fatores, sendo que cada um deles foi tido em conta pelo facto de os seus parâmetros afetarem o comportamento das arribas das praias e respetiva qualidade, consequentemente relacionados com o risco de instabilidade. Os fatores estudados foram a geometria, a geologia do terreno, a inspeção visual para avaliação do estado de conservação e manutenção do local, o histórico de acidentes e eventuais intervenções prévias, a informação quanto ao revestimento existente e quanto às condições ambientais e de tráfego da zona inerente à praia (Tabela 4.4). A cada um dos fatores mencionados pode ser associado um parâmetro respeitante à avaliação semi-quantitativa (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Comparação dos parâmetros relativos à avaliação semi-quantitativa segundo o índice de risco, e os fatores correspondentes ao índice de qualidade.

| Índice de Risco | Probabilidade de ocorrência | | Magnitude | | Dano Potencial | Capacidade de Resposta |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|------------|----------------------------------|----------------|--|
| Fatores Índice de Qualidade | Geológico | Ambiental/Tráfego | Geométrico | Historial e possíveis movimentos | Imediações | Revestimento e Proteção, Inspeções visuais |

Assim, neste trabalho pretende-se desenvolver um índice de qualidade para avaliar qualitativamente e quantitativamente os taludes das praias em estudo, sustentando eventuais decisões no que concerne ao planeamento das intervenções de modo a garantir uma maior segurança para os utentes frequentadores destes espaços.

Segundo a metodologia aplicada em Pinheiro *et al.*, 2014, consoante o nível de informação disponível, podem assumir-se diferentes sistemas, como nos casos em estudo em que existe uma ausência de dados relativos ao sistema de drenagem e monitorização sendo este designado por um sistema simplificado.

A cada um dos fatores foi atribuído um peso definido *a priori* consoante a sua maior ou menor importância e contribuição para a estabilidade dos taludes, tendo por base resultados de um inquérito efetuado a profissionais na área.

Deste modo, e tendo sido definido um sistema simplificado, existiu a necessidade de redistribuir o peso dos fatores cuja informação era inexistente. Desta forma, foram dados pesos maiores aos fatores geométrico e geológico pelo facto das características internas do maciço implicarem fortemente na sua estabilidade e pesos menores ao seu estado de conservação e manutenção (inspeções visuais), ao revestimento, imediações e ambiental/tráfego.

Após a definição do peso dos fatores, os parâmetros que os caracterizam são ponderados tendo em consideração os pesos atribuídos a cada fator permitindo a obtenção do índice final.

Para o parâmetro da avaliação do potencial de queda de blocos (RHRS_{m2}), e de acordo com as características das arribas em estudo, definiram-se pontuações correspondentes às particularidades das mesmas e segundo as cotações dos parâmetros definidos por Pinheiro *et al.*, 2014.

De assinalar que, após efetuado o cálculo do índice, este valor numérico deverá ser convertido para uma escala qualitativa e não apenas quantitativa, fornecendo assim uma compreensão mais intuitiva do estado de qualidade do talude em avaliação, o que constitui um ponto fundamental de apoio à decisão. Assim sendo, essa classificação encontra-se representada Tabela.4.3.

Tabela.4.3 - Classificação quantitativa e qualitativa do estado de qualidade do talude

| Estado do Talude | Índice de Qualidade | |
|-------------------------|----------------------------|--|
| <i>Muito Mau</i> | 5 | |
| <i>Mau</i> | 4 | |
| <i>Médio</i> | 3 | |
| <i>Bom</i> | 2 | |
| <i>Muito Bom</i> | 1 | |

É importante referir que estas tabelas apresentam os valores de referência para as praias em análise neste estudo, apesar de, por questões organizacionais, não se apresentarem explicitamente após cada uma das análises deste estudo.

Tabela 4.4 - Fatores e respetivos parâmetros para a avaliação do índice de qualidade.

| <i>Fatores</i> | <i>Geológico</i> | <i>Ambiental/Tráfego</i> | <i>Geométrico</i> | <i>Inspeções visuais</i> | <i>Historial e Possíveis movimentos</i> | <i>Imediações</i> | <i>Revestimento e Proteção</i> |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------|---|------------------------------|-----------------------------------|
| Parâmetros | ❖ Litologia | ❖ Precipitação média anual | ❖ Altura do talude | ❖ Estado de conservação | ❖ Intervenções | ❖ Sobrecargas | ❖ Existência de cobertura vegetal |
| | ❖ Grau de alteração do maciço | ❖ Velocidade máxima de tráfego | ❖ Inclinação do talude | ❖ Estado de manutenção | Possíveis figuras de instabilidade ↓ | ❖ Vibrações nas proximidades | ❖ Proteção superficial |
| | ❖ Fraturação | ❖ Tráfego médio diário | | | ❖ Blocos caídos na base | | |
| | ❖ Sistema RHRSm2 | ❖ Zona sísmica tipo 1 | | | ❖ Deslizamento planar | | |
| | | ❖ Zona sísmica tipo 2 | | | ❖ Rotura por cunha | | |
| | | | | - | ❖ Diretriz circular | - | - |

4.1 Sesimbra – Praia da Califórnia

4.1.1 Descrição geral e avaliação da problemática

A Praia da Califórnia situa-se na área urbana de Sesimbra, com extensão total superior a 700m, e beneficia de excelentes infraestruturas de acesso tanto para nascente como poente (Fig. 4.1).



Figura 4.1 - Mapa da Vila de Sesimbra na zona da Praia da Califórnia (in Câmara Municipal de Sesimbra)

A Praia da Califórnia evidencia diversos sinais de instabilização que têm vindo a ser objeto de estudos de avaliação de estabilidade das arribas, sendo que no ano de 2009 se identificaram situações de risco e recomendaram medidas de prevenção, assim como a execução de estudos detalhados quanto às eventuais situações de instabilização identificadas. Em janeiro de 2010, uma parte da arriba junto à entrada Este da praia foi alvo de destabilização através da queda de um bloco por desprendimento. Esta situação ocorreu, sem consequências de maior em virtude da inexistência de pessoas ou bens no local durante a ocorrência do evento (Costa & Sá Caetano, 2010). Após esta ocorrência, no mês de junho do mesmo ano, realizou-se um conjunto de medidas de saneamento e desmonte controlado com vista à redução de eventuais situações de perigo nesta zona.

É uma praia que apresenta uma elevada frequência, classificada como Praia de uso intensivo (Tipo I – classificação segundo o POOC).

A intensa construção no topo, a meia encosta e na base da escarpa, influencia desfavoravelmente a estabilidade dos taludes (mediante sobrecarga, interferência na drenagem superficial e subterrânea, reperfilamento topográfico, etc.) (Sá Caetano et.al, 2014).

4.1.2 Caracterização geológica-geotécnica das arribas por áreas

Para um estudo geológico-geotécnico detalhado e posterior zonamento geomecânico, foi considerada uma divisão segundo duas áreas (Figura 4.2), a primeira situada a ponte (desde a rampa de acesso, até à escadaria que se encontra na zona central da praia). A segunda que compreende a frente do elevado talude onde se identificam inúmeras situações de instabilidade.



Figura 4.2 - Visualização da Praia da Califórnia segundo áreas geológico-geotécnicas

Na Figura 4.2 é visível que a área de estudo definida como 2 compreende parte da área de risco definida no POOC. A fração não selecionada (encosta localizada a N da Estrada de Argeis) não se revela fundamental para o estudo de avaliação do risco para a Praia da Califórnia não tendo sido deste modo, deste modo incluída na área a estudar.

4.1.2.1 Área 1

O maciço rochoso correspondente à área 1 (Figura 4.3) é caracterizado fundamentalmente por arenitos grosseiros e conglomerados do Cretácico inferior (“Formações de Vale de Lobos e de Guia indiferenciadas” – C1VG). Por vezes, este arenito encontra-se metamorizado, nomeadamente a ponte. À medida que se segue no sentido de nascente é possível observar uma modificação ao nível do tamanho e forma dos grãos constituintes do maciço.



Figura 4.3 - Vista panorâmica da área definida como 1, Praia da Califórnia

A estratificação presente no afloramento referente à área 1 pode ser comparada com a estratificação situada uns metros acima da zona da praia (Figura 4.4). É conhecido o seu antigo uso para a inumação de inúmeras vítimas da gripe espanhola nos anos 1918/19. Apesar da direção mudar ligeiramente, a inclinação permanece igual. A sua comparação torna-se, no entanto, difícil, pelo facto de os seus planos de estratificação serem resultado de depósitos de corrente de elevada densidade, que ao longo do tempo transportaram uma quantidade de sedimentos considerável.



Figura 4.4 - Afloramento localizado a Norte da Praia da Califórnia

Os ensaios com martelo de *Schmidt* para estimar a resistência à compressão uniaxial do maciço na área 1 demonstraram-se complexos devido à textura e granulometria do material presente, que, por consequência, revelou uma superfície de contacto muito irregular, dificultando a obtenção de dados considerados significativos.

4.1.2.1.1 BGD

A classificação segundo a BGD definida para a área 1 (Figura 4.5), na Praia da Califórnia, encontra-se descrita na Tabela 4.5, assim como o resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados (Tabela 4.6).



Figura 4.5 - Visualização da classificação segundo a BGD para a área 1

Tabela 4.5 - Classificação segundo a BGD para a área 1

| Zonas | Caracterização Geológica-Geotécnica simplificada (ISRM, 1981) | Descrição Geológica |
|-------|---|--|
| I | <u>Arenito fino</u> $L_{1-2}; F_{1-2}; S_3; A_4$ (W_3) | <p>Arenito fino apresentando uma tonalidade branca, grão fino. Metamorfizado localmente devido à presença de material dolerítico que constitui um filão, visivelmente meteorizado, que se encontra acometido por uma falha inversa (Figura 4.6). Quanto à estimação da RCU obteve-se um valor de 48 MPa.</p> <p>Pequenos apontamentos ferruginosos conferem um estado de meteorização moderado. Nas restantes frentes, a poente, o estado de meteorização é reduzido por se encontrarem menos expostas aos agentes meteóricos (W_{1-2}).</p> <p>Considera-se que a espessura das camadas é elevada.</p> <p>As fraturas podem ser classificadas afastadas.</p> |
| II | <u>Arenito grosseiro</u> $L_{1-2}; F_{1-2}; S_3; A_4$ (W_{4-5}) | <p>Arenito amarelado, com grão mais grosseiro comparativamente com o afloramento que lhe antecede (Figura 4.7). O material apresenta-se moderadamente meteorizado, com um grau de meteorização mais elevado na zona da crista, justificando deste modo a categorização do grau de meteorização para esta zona.</p> <p>A espessura das camadas é elevada.</p> <p>As fraturas encontram-se afastadas.</p> |



Figura 4.6 - Filão dolerítico situado a poente (afetado por falha inversa) seguido de um afloramento de arenito ferruginizado, zona I



Figura 4.7 - Afloramento arenito grosseiro amarelado pertencente à zona definida como II

Tabela 4.6 - Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD na área 1

| Resultados | | I | | | II | | |
|------------|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------|------------------|-------------------------------------|---------------------|------------------|
| | | Método de recolha dos dados | Valor Médio | BGD | Método de recolha dos dados | Valor Médio | BGD |
| Parâmetros | Espessura das camadas (cm) | Análise visual | Métrica | L ₁₋₂ | Análise visual | Métrica | L ₁₋₂ |
| | Espaçamento entre fraturas (cm) | Análise visual | Dec. a métrico | F ₁₋₂ | Análise visual | Dec. a métrico | F ₁₋₂ |
| | RCU (MPa) | Martelo de Schmidt | 48 | S ₃ | 1) | 60-200 | S ₁₋₂ |
| | ϕ - Ângulo de atrito (°) | Estimado tendo em conta a litologia | 20-25 ²⁾ | A ₄ | Estimado tendo em conta a litologia | 20-25 ²⁾ | A ₄ |
| | Grau de meteorização | Obs. visual | - | W ₃ | Obs. visual | - | W ₄₋₅ |

Notas relativas à tabela:

- 1) Não foram realizadas medições nesta zona da arriba, nem ensaios para avaliar a RCU, todavia considerou-se como base a classificação proposta pela ISRM (1981).

- 2) Ângulo de atrito estimado com base na classificação de Rocha (1976) e nos elementos publicados em Hoek & Bray (1981).

4.1.2.1.2 GSI

A formação de arenitos e conglomerados presentes nesta área apresenta diferentes tipos de alteração, que motiva a diferenciação em duas zonas, apresentando-se afetada por falhas inversas (filão dolerítico) e pressões longitudinais que originaram as presentes superfícies de descontinuidade. A disposição do maciço, afetada pela presente fracturação e estratificação, induz situações de instabilidade de queda de blocos.

O maciço rochoso, quanto ao nível da sua composição e estrutura, assim como das condições das descontinuidades existentes, pode ser considerado como respeitante à classe F (Tabela 4.7 e Figura 4.8), motivado pela deformação tectónica e perda de continuidade que transpõe esta área da classe C para F.

Tabela 4.7 - Avaliação do índice GSI para a área 1

| <i>Local</i> | Composição e Estrutura | Condições das descontinuidades | GSI |
|---------------|--|---|------------|
| <i>Área 1</i> | Bancadas de arenitos e conglomerados fraturadas. Com uma família principal de descontinuidades | Paredes moderadamente rugosas e meteorizadas, consideradas descoloradas a desintegradas | 25±5 |
| | Classe F | Fraca a média qualidade | |



Figura 4.8 - Comparação entre o maciço rochoso na área 1 com a estrutura referente à classe F, definida por Marinos & Hoek, (2001)

4.1.2.2 Área 2

Na área 2 (Figura 4.9), podem-se distinguir duas litologias. A base é caracterizada por um maciço terroso, composto por materiais arenosos, argilosos, evaporíticos e carbonatados associados à “Formação de Dagorda – J1Da” (Jurássico inferior) e por materiais vulcano-sedimentares da unidade “Complexo Vulcano-Sedimentar – J1VS”.



Figura 4.9 - Panorâmica referente à área 2, Praia da Califórnia

Este local foi aproveitado como exploração de gesso no passado, o que justifica as acumulações de escombros. Estes materiais apresentam uma resistência muito baixa, resistência ao ressaltamento nula, evidenciando cicatrizes de pequenos escorregamentos rotacionais à superfície e figuras de erosão superficial (Figura 4.10).



Figura 4.10 - Evidência de escorregamentos rotacionais e figuras de erosão, sem fracturação presente, maciço terroso – área 2

Para o topo da arriba abrupta (Figura 4.11), esta apresenta uma litologia da “Formação dos Dolomitos de Sesimbra – J1Se”, com uma série dolomítica pouco meteorizada (W_{1-2}), iniciada por brecha dolomítica nos primeiros metros, e a meio da sucessão encontra-se um conjunto de camadas mal estratificadas e moderadamente meteorizadas (W_3). A matriz rochosa é consideravelmente mais resistente que as unidades subjacentes referidas anteriormente para a base desta área.



Figura 4.11 - Talude abrupto no topo da arriba da área 2

Observam-se dois conjuntos de fraturas ortogonais, um aglomerado de fraturas pouco rugosas, subverticais e normais ao desenvolvimento do talude, e outro conjunto de fraturas paralelas à face da arriba, com um perfil ondulado que mergulha para S (Figura 4.12).





Figura 4.12 – Crista dolomítica e do sistema de fracturação do maciço

A estratificação das bancadas, como referido para a área 1, é mergulhante para o interior do maciço rochoso. De modo a inferir o valor da Resistência à Compressão Uniaxial da brecha dolomítica presente na praia, efetuaram-se 20 ensaios com recurso ao martelo de Schmidt. Estes ensaios foram realizados com o martelo orientado segundo 45° relativamente à superfície de ensaio, e paralelamente à estratificação. Na tabela seguinte são apresentados os valores obtidos. Foi admitido um valor de 25 kN/m³ para o peso volúmico da brecha dolomítica.

4.1.2.2.1 BGD

A classificação segundo a BGD definida para a área 2 (Figura 4.13), na Praia da Califórnia, encontra-se descrita na Tabela 4.8, assim como o resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados (Tabela 4.9).



Figura 4.13 - Visualização da classificação segundo a BGD para a área 2

Tabela 4.8 - Classificação segundo a BGD para a área 2

| Zonas | Caracterização Geológica-Geotécnica simplificada (ISRM, 1981) | Descrição Geológica |
|-------|---|--|
| III | <u>Maciço terroso</u> L ₄₋₅ ; F ₃ ; S ₄₋₅ ; A ₄ (W ₄) | Maciço essencialmente terroso, composto por materiais arenosos, argilosos, evaporíticos e carbontados e por materiais vulcano-sedimentares. Apresenta resistência ao ressalto nula, não tendo sido possível estimar a RCU para este material. |
| IV | <u>Série dolomítica</u> Semelhante a I ₃ L ₄₋₅ ; F ₄ ; S ₂ ; A ₄ (W ₁₋₂) | Série dolomítica pouco meteorizada, iniciada por brecha dolomítica nos primeiros metros. Aproximadamente a meio da sucessão aparece um conjunto de camadas mal estratificadas e moderadamente meteorizadas (W ₃). O maciço encontra-se intensamente fraturado. |

Tabela 4.9 - Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD na área 2

| Resultados | | III | | | IV | | |
|------------|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| | | Método de recolha dos dados | Valor Médio | BGD | Método de recolha dos dados | Valor Médio | BGD |
| Parâmetros | Espessura das camadas (cm) | Análise visual | Métrica | L ₄₋₅ | Análise visual | Métrica | L ₄₋₅ |
| | Espaçamento entre fraturas (cm) | Análise visual | Dec. a métrico | F ₃ | Análise visual | Dec. a métrico | F ₄ |
| | RCU (MPa) | - | - | S ₄₋₅ | 1) | 60-200 | S ₂ |
| | ϕ - Ângulo de atrito (°) | Estimado tendo em conta a litologia | 20-30 ²⁾ | A _{3 a} A ₄ | Estimado tendo em conta a litologia | 20-30 ²⁾ | A _{3 a} A ₄ |
| | Grau de meteorização | Obs. visual | - | W ₄ | Obs. visual | - | W ₁₋₂ |

Notas relativas à tabela:

- 1) Não foram realizadas medições nesta zona da arriba, devido ao difícil acesso, nem ensaios para avaliar a RCU no entanto considerou-se como base a classificação proposta pela ISRM (1981).
- 2) Ângulo de atrito estimado com base na classificação de Rocha (1976) e nos elementos publicados em Hoek & Bray (1981).

4.1.2.2.2 GSI

O maciço rochoso apresenta-se intensamente fraturado, e tendo em consideração as observações superficiais das características dos taludes nesta área, classificam-no como pertencente à classe D (Tabela 4.10 e Figura 4.14).

De forma a não perder objetividade na determinação do índice (GSI), recorreu-se a uma estimação do mesmo segundo um intervalo de valores e não apenas um valor único (Brissos, 2013).

Tabela 4.10 - Avaliação do índice GSI para a área 2

| Local | Composição e Estrutura | Condições das discontinuidades | GSI |
|--------|---|---|------|
| Área 2 | Bancadas de arenitos e conglomerados fraturadas. Com duas famílias principais de discontinuidades | Paredes moderadamente rugosas e meteorizadas, consideradas descoloradas a desintegradas | 30±5 |
| | Classe D | média qualidade | |

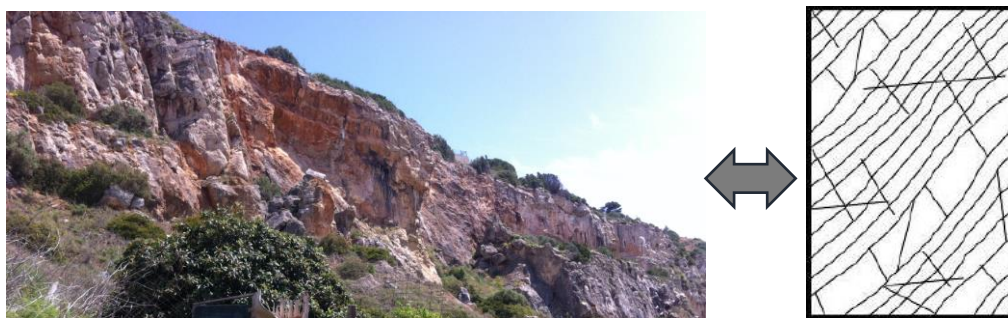


Figura 4.14 - Comparação entre o maciço rochoso do talude abrupto da área 2, com a estrutura referente à classe D, definida por Marinos & Hoek, (2001)

4.1.3 Zonamento Geomecânico

Uma avaliação geológico-geotécnica detalhada permitiu delimitar quatro zonas geomecânicas (Figura 4.15).



Figura 4.15 - Zonamento geomecânico para a Praia da Califórnia (vista para Norte)

As zonas geomecânicas 1 e 2 evidenciam uma intensa fracturação (geralmente mergulhante para Sul) o que permite inferir, com apoio dos dados relativos à análise de estabilidade, a possibilidade dos materiais neste troço da arriba poderem sofrer roturas planares (situação já ocorrida no de ano de 2010 na definida zona 1 - Figura 4.16) a partir das superfícies de fracturação presentes. Verifica-se igualmente a possibilidade de tombamento resultado da inclinação da estratificação para o interior do maciço (para N), que na inexistência de suporte basal pode gerar rotação pelo plano da base.



Figura 4.16 - Progressão da instabilidade quanto a possíveis escorregamentos planares entre 2010 (à esq.) e 2015 (à dir.)

Após passar por uma zona de arenito grosseiro, é possível delinear uma zona mais terrosa, com uma apresentação isótropa e possivelmente constituída por depósitos de vertente. Nesta zona, constituída por um maciço terroso, poderão ter ocorrido possíveis escorregamentos e deslocamentos circulares.

Confirma-se a possibilidade para a ocorrência de escorregamentos planares maioritariamente pelas superfícies de fracturação paralelas ao talude, assim como pelas fraturas perpendiculares (na direção do interior do maciço), destaque de cunhas deslizantes resultado da intersecção das superfícies de fratura referidas, e eventuais episódios de rotura por tombamento (Figura 4.17)

em zonas em que o pendor das camadas suplanta os 35° a 40° e não exista qualquer suporte basal na zona geomecânica 4.



Figura 4.17 – Situação potencial para tombamento de bancadas fraturadas de dolomito sem suporte basal

Observa-se, na área 2, um bloco rochoso de grande dimensão (Figura 4.18) sustentado em materiais de baixa resistência das formações subjacentes e outros blocos caídos anteriormente. Estimou-se o volume original deste bloco em cerca de 450m³, o que corresponde aproximadamente a 1215 ton.



Figura 4.18 - Bloco de grande dimensão possivelmente proveniente da crista dolomítica

A base do bloco, brecha dolomítica, que eventualmente será a base dos dolomitos de Sesimbra, indica que a rotura poderá ter-se dado a partir de uma zona superior da crista dolomítica. Esta conclusão pode ser comprovada pelo facto de que se observa o mesmo tipo de rocha no nível superior, indicando que a deslocação deste bloco de grande dimensão envolveu apenas rotação inicial e deslizamento ao longo da encosta sobre os materiais de baixa resistência subjacentes até à sua imobilização, sem envolver qualquer queda livre, rolamento ou ressalto.

O bloco poderá ser proveniente do hiato que se encontra a descoberto nessa mesma direção e localizado no nível superior. Uma observação que corrobora esta teoria reside nas “manchas” pretas que se podem observar junto da estratificação quer do espaço no nível superior, como do próprio bloco caído.

Alguns testemunhos relatam este mecanismo de rotura e trajetória e situam esta ocorrência, temporalmente, entre a década de 50 e 60, como pode ser comprovado pela figura referente à década de 70, na qual é visível o bloco de grandes dimensões ao longo da encosta (Figura 4.19).



Figura 4.19 - Concha de Sesimbra nas décadas de 60 (à esq.) e 70 (à dir.)

4.1.4 Reavaliação do risco preliminar

A categorização em termos de Perigosidade aparente e Vulnerabilidade revelou um IR preliminar muito elevado (0.80) para a Praia da Califórnia (Tabela 4.11 e Tabela 4.12). Após esta primeira avaliação, existiu a necessidade de uma avaliação geotécnica detalhada que demonstrou um índice igualmente muito elevado.

A Praia da Califórnia, situada numa zona urbana marcada pela existência de diversas infraestruturas ao longo da arribas, nomeadamente no seu topo, apresenta, deste modo, uma conjectura adversa tornando-a mais vulnerável. O seu fácil acesso e condições ideais permite uma maior afluência por parte dos utentes, factos que se revelam importantes quanto à possibilidade de dano associado à mesma.

Tabela 4.11 - Reavaliação do risco para as arribas da Praia da Califórnia

| Praia da Califórnia | PO | M | D | C | Perigosidade Aparente | Vulnerabilidade | Tipologia de praia | IR |
|--------------------------------------|----|---|---|---|-----------------------|-----------------|--------------------|------|
| <i>Avaliação preliminar de risco</i> | 4 | 5 | 5 | 1 | 20 | 5 | I | 0.80 |
| <i>Reavaliação do risco</i> | 4 | 5 | 5 | 1 | 20 | 5 | I | 0.80 |

Tabela 4.12 - Escala para a definição de IR

| <i>Índice de Risco (IR)</i> | | |
|-----------------------------|------------------|--|
| <i>Muito Elevado</i> | ≥ 0.8 a 1 | |
| <i>Elevado</i> | ≥ 0.6 a 0.8 | |
| <i>Moderado</i> | ≥ 0.4 a 0.6 | |
| <i>Reduzido</i> | ≥ 0.2 a 0.4 | |
| <i>Não significativo</i> | < 0.2 | |

A ZG1 e ZG2 apresentam-se comprovadamente fraturadas e expostas à ocorrência de alguns mecanismos de rotura, que consequentemente elevam o grau de perigosidade para este local (Figura 4.20).

De mencionar que as construções e fundações dos edifícios presentes na zona da crista poderão ter gerado alterações nos regimes de pressões hidrostáticas e geoestáticas do maciço, assim como a instalação de sistemas de rega, variáveis que se revelam como instabilizadores do maciço, motivando um grau de risco elevado nesta zona.



Figura 4.20 - Possível situação instabilizadora na área 1

A situação apresentada na figura anterior representará reduzida perigosidade devido à menor altura de queda.

A problemática de estabilidade do talude, na ZG3, considera-se internamente ligada com a pluviosidade, e consequente escorrência de material. Paralelamente a intervenção marinha motiva a formação de consolas devido à erosão marinha. Conjuntamente com fenómenos de *piping*, água precipitada que se infiltra no maciço, criam instabilização na arriba.

Deste modo, representa uma probabilidade de ocorrência de um evento perigoso superior para este local, no entanto por se situar no sopé do talude, e tendo em consideração a sua composição essencialmente terrosa, estes fatores podem ser apreciados como atenuantes.

Os blocos provenientes das zonas superiores do afloramento (dolomito e brecha dolomítica), constituem uma eventual proteção contra a erosão marinha das unidades subjacentes menos resistentes ("Formação de Dagorda" e "Complexo Vulcano-Sedimentar") impedindo assim a escavação do sopé, minimizando o risco (Figura 4.21). Não obstante, esta proteção revela-se como temporária tendo em conta que só exerce esta função enquanto não existir desgaste dos blocos na base, havendo a necessidade de repor estes blocos para efetivar a preservação desta zona.



Figura 4.21 - Blocos de proteção na base do talude, na área 2

A perigosidade na ZG4 deriva da possibilidade de queda de blocos a partir da crista dolomítica (zona superior), pouco meteorizada, atendendo um risco elevado consoante alguns parâmetros como a estações do ano, a trajetória dos blocos e as suas dimensões (Sá Caetano et.al,2014). O facto de a maioria dos blocos, constituídos por brecha, terem caído na direção da praia, permite inferir que, neste momento, o material existente no nível superior é mais consistente.

Este enquadramento resulta frequentemente no destaque de blocos rochosos pelas superfícies de baixa resistência, alguns de enorme dimensão, existindo já abundante historial de instabilizações (Figura 4.22).



Figura 4.22 - Visualização da área 2 e do bloco de grandes dimensões na base do talude

A existência de uma plataforma de reduzido pendor coberta de vegetação (Figura 4.23) que modela o talude na base da crista dolomítica poderá ter um efeito mitigador do risco na medida em que alguns blocos de menores dimensões podem ficar retidos ao longo do seu trajeto de queda e rolamento.



Figura 4.23 - Plataforma com coberto vegetal entre a crista dolomítica e a base do talude

Atualmente, o bloco de grandes dimensões figura-se acomodado tanto quanto à sua estrutura como volume. Porém, a presença de faixas escuras associadas a meteorização, proveniente da percolação de água no interior das fraturas, no talude e nas faces do bloco, para além de corroborar a conjectura do bloco de elevada dimensão ser proveniente da zona superior, poderá indiciar uma futura instabilidade a partir da crista dolomítica.

O afloramento dolomítico reúne características para materializar um evento perigoso. Apesar da probabilidade de ocorrência ser reduzida, o valor da magnitude pode ser extremamente elevado.

Considera-se, deste modo, que o risco ao qual as arribas da Praia da Califórnia se encontram sujeitas permanece elevado, resultado da identificação de inúmeras zonas instabilizadas ao longo da praia aliada a uma forte ocupação da crista e base das arribas.

4.1.5 Avaliação qualitativa e quantitativa do índice de qualidade dos taludes

Para a Praia da Califórnia, e com o objetivo de classificar o grau de risco do talude, para avaliação do seu índice de qualidade, estabeleceu-se, como já referido anteriormente na introdução deste capítulo, um valor entre 1 e 5 (Tabela.4.3).

A avaliação do potencial de queda de blocos por Pinheiro *et al.*, 2014, para uma pontuação obtida para o sistema RHRSm2 de 381 (Tabela 4.13), é relativo a um rating de 4 para o cálculo do índice de qualidade, com um grau de risco elevado, impondo uma atuação urgente (Tabela 4.1).

Considerando a zona geomecânica 4 como apresentando um risco consideravelmente mais elevado comparativamente com as restantes zonas, alguns parâmetros foram avaliados tendo por base esta zona particular do maciço, motivando um *rating* superior, de modo a obter um índice de qualidade para a Praia da Califórnia adequado às eventuais instabilidades a que esta se encontra sujeita.

Tabela 4.13 - Aplicação do sistema RHRSm2 para a Praia da Califórnia

| Sistema RHRSm2 | | |
|------------------------------|--|------------|
| Categoria | Dados | Pontuação |
| Altura do talude | >30m | 81 |
| Inclinação | >50° | 81 |
| Zona de Influência | Média | 9 |
| Condição Estrutural | Descontinuidades com orientação desfavorável | 27 |
| Alteração do Maciço | W3 - W4 | 27 |
| Erosão | Elevada | 27 |
| Tamanho dos blocos | 0.9 | 27 |
| Volume de blocos por evento | 6.9 | 27 |
| Quantidade de blocos | Alguns | 27 |
| Irregularidade da face | Alta | 27 |
| Presença de água | Húmido | 9 |
| Historial de queda de blocos | Quedas ocasionais | 9 |
| Clima | Baixa precipitação | 3 |
| Total | | 381 |
| *NA - Não Aplicável | | |
| | | |

Através da aplicação da metodologia para o cálculo do índice de qualidade das arribas, obteve-se um índice de 3.6 (Quadro 4.1), podendo afirmar-se que o talude se encontra em mau estado com tendência para evoluir para um estado considerado 'muito mau' requerendo ações de monitorização e manutenção perentórias.

| Cálculo do Índice de qualidade do talude | | | | | | | |
|--|----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------|--|--------------------|
| Fator | Peso (W) | Parâmetro | Ponderação dos Parâmetros (Wi') | Dados | Rating (Xi') | Cálculo da cotação atribuída a cada um dos parâmetros (Xi) | Cálculo de W*Σ(Xi) |
| Geológico | 0.20 | Tipo de Litologia | 0.30 | Arenito/Brecha dolomítica | 2 | 0.6 | 0.68 |
| | | Grau de Alteração do maciço | 0.20 | W3 - W4-5 | 4 | 0.8 | |
| | | Fraturação | 0.20 | Sim | 4 | 0.8 | |
| | | Sistema RHRSm2 | 0.30 | 381 | 4 | 1.2 | |
| Geométrico | 0.22 | Altura do Talude | 0.45 | 30-40 m | 4 | 1.8 | 0.88 |
| | | Inclinação do Talude | 0.55 | 51-60° | 4 | 2.2 | |
| Ambiental/Tráfego | 0.10 | Precipitação Média Anual | 0.40 | 500-1000mm | 3 | 1.2 | 0.27 |
| | | Velocidade Máxima de Tráfego | 0.10 | 60-70 | 2 | 0.2 | |
| | | Tráfego Médio Diário | 0.10 | <18000 | 1 | 0.1 | |
| | | Zona Sísmica Tipo 1 | 0.20 | 1.3 | 3 | 0.6 | |
| | | Zona Sísmica Tipo 2 | 0.20 | 2.3 | 3 | 0.6 | |
| Inspeções Visuais | 0.14 | Estado de Conservação | 0.60 | Médio | 3 | 1.8 | 0.42 |
| | | Estado de Manutenção | 0.40 | Mau | 3 | 1.2 | |
| Historial | 0.10 | Intervenções | 0.25 | Grau 2 | 3 | 0.8 | 0.285 |
| | | Queda de Blocos | 0.2 | Sim - Relativamente Ativa | 4 | 0.8 | |
| | | Deslizamento Planar | 0.2 | Sim - Relativamente Ativo | 4 | 0.8 | |
| | | Rotura por Cunha | 0.2 | Sim - Relativamente Ativa | 4 | 0.8 | |
| | | Diretriz Circular | 0.15 | Alguma | 3 | 0.5 | |
| Imediações | 0.12 | Sobrecargas | 0.60 | Sim | 5 | 3.0 | 0.6 |
| | | Vibrações nas Proximidades | 0.40 | Sim | 5 | 2.0 | |
| Revestimento | 0.12 | Existência de Cobertura Vegetal | 1 | Pontual | 4 | 4.0 | 0.48 |
| | | Proteção Superficial | NA | NA | NA | NA | |
| Índice de Qualidade (I) | | | | | | | 3.615 |

Quadro 4.1 - Aplicação da metodologia de cálculo do índice de qualidade para a Praia da Califórnia

4.2 Costa Alentejana

4.2.1 Praia do Serro da Águia

4.2.1.1 Descrição geral e avaliação da problemática

A Praia do Serro da Águia está localizada a 500 m para N da vila de Porto Covo (Figura 4.24 e Figura 4.25). Formada por um areal de reduzidas dimensões, entre arribas subverticais de altura moderada, que oferecem proteção em dias ventosos, a praia conserva o seu aspeto selvagem, sem infraestruturas de apoio ou vigilância, mosqueada por arbustos verdes ao longo das suas faces rochosas. As águas alcançam calmamente a pequena enseada, constituída por xistos e tufitos da “Formação de São Luís”, da base do Carbónico, com bancadas de espessura reduzida (L₃ a L₄₋₅). O acesso à praia é conseguido por meio de uma escadaria situada na transição entre a encosta Este e Sul.



Figura 4.24 - Praia do Serro da Águia, freguesia de Porto Covo



Figura 4.25 - Vista panorâmica da Praia do Serro da Águia

4.2.1.2 Caracterização geológica-geotécnica das arribas por locais

A avaliação da Praia do Serro da Águia, encaixada entre arribas subverticais, pode ser segmentada segundo o estudo das arribas Norte, Este e Sul. A avaliação da crista também se revela importante para o estudo visando uma análise geológica e geotécnica de pormenor. Na figura seguinte localizam-se as *scanlines* (N1, N2 e S1) (Figura 4.26 e Tabela 4.14) cujos dados merecerão posterior apreciação.



Figura 4.26 - Vista aérea da Praia do Serro da Águia e localização aproximada das estações (scanlines) (Sá Caetano *et al.*, 2014).

Tabela 4.14 - Dados relativos às arribas e respetivas divisões em locais na Praia do Serro da Águia

| Arriba | Nº Scanlines | Scanline | Litologia | Altura da arriba (m) |
|----------|--------------|----------|------------------|----------------------|
| N | 2 | N1; N2 | Xistos argilosos | 10-12 |
| E | 0 | - | Xistos argilosos | 9-10 |
| S | 1 | S1 | Xistos argilosos | 10-12 |

4.2.1.2.1 Avaliação da crista

O material rochoso presente na zona da crista expõe um estado de meteorização de elevada descoloração e friabilidade (W_3), ocasionalmente de intensa meteorização (W_{4-5}), em locais associados a escorrência superficial que promovem a criação de pequenas fissuras ou sulcos, visíveis na arriba N, motivados por esta erosão gerada à superfície (Figura 4.27 e Figura 4.28).

A zona da crista, correspondente à escadaria de acesso, desvio entre a arriba Este e Sul, encontra-se afetada por blocos em consola passíveis de destaque e por conseguinte, queda (Figura 4.29).



Figura 4.27 - Fenda na crista da arriba N



Figura 4.28 - Sulco observado na zona da crista, arriba Norte



Figura 4.29 - Blocos em evidência, inflexão arriba E e S

Identificam-se pequenos desníveis ao longo da crista (Figura 4.30), podendo estes serem constatados na arriba Este e no local de acesso à praia.



Figura 4.30 - Desníveis ao longo da crista

4.2.1.2.2 Arriba Norte

O maciço rochoso na arriba N (Figura 4.31 e Figura 4.32), com a estratificação a inclinar para N, é caracterizado por xistos, fundamentalmente argilosos e com um estado de meteorização que varia entre W1-2 a W3. Para o topo, porém, este pode apresentar um estado de meteorização

mais elevado (W4-5) no seguimento de escorrências superficiais provenientes da crista (podem nomeadamente ser visíveis expressões pontuais da fluência de água próximo da base junto a N2).

A arriba apresenta um perfil encrespado, devido à existência de alguns blocos destacados e zonas subescavadas.



Figura 4.31 – Panorâmica da arriba Norte, e localização das estações N1 e N2



Figura 4.32 – Pormenor da estação N1

As *scanlines* N1 e N2 (Tabela 4.15 e Tabela 4.16) foram realizadas numa zona onde o maciço se encontra moderadamente meteorizado (W_3) e fraturado. As fraturas demonstram-se pouco a moderadamente contínuas, abertas a medianamente largas para N1 e abertas a muito largas para N2 (Figura 4.33). A rugosidade das paredes traduz-se como medianamente rugosa (R_3) para N1 e variando entre medianamente rugosa e muito rugosa (R_3 e R_{4-5}) para N2.

Estas fraturas encontram-se frequentemente preenchidas por material argiloso oriundo da meteorização dos xistos que compõe o maciço neste local, e por vezes quartzo.

O valor de RCU é de 50 MPa para N1 e 28 MPa para N2, diferença justificada pelas rugosidades derivadas das lâminas de xisto na superfície.

Tabela 4.15 - Características da estação N1

| Scanline N1 | Comprimento (m) | Localização | Azimute (°) | Inclinação (°) | Espessura das bancadas na zona | Espaçamento médio S (cm) | | Litologia |
|----------------|--------------------|---------------------------------|----------------|-------------------|---|-----------------------------|----------------|-------------------|
| | 7.60 | 8°47'39.767"W 37°51'41.947"N | 318 | 0 | L ₄₋₅ | 71.1 | F ₂ | Xisto argiloso |



Figura 4.33 – Pormenor da estação N2

Tabela 4.16 - Características da estação N2

| Scanline N2 | Comprimento (m) | Localização | Azimute (°) | Inclinação (°) | Espessura das bancadas na zona | Espaçamento médio S (cm) | | Litologia |
|------------------------|--------------------|---------------------------------|----------------|-------------------|---|-----------------------------|----------------|-------------------|
| | 6.80 | 8°47'40.133"W 37°51'42.268"N | 142 | 0 | L ₄₋₅ | 113.3 | F ₂ | Xisto argiloso |

4.2.1.2.2.1 BGD

A diferenciação em duas subzonas (Figura 4.34), descritas de seguida (Tabela 4.17 e Tabela 4.18), deve-se fundamentalmente ao estado de meteorização do maciço, e ao facto de este se encontrar particularmente afetado, na zona definida como I_2 , por meio de exsurgências de água provenientes da zona da crista que promove um elevado grau de meteorização na parte superior da frente da arriba.



Figura 4.34 – Panorâmica da arriba Norte para efeitos de classificação conforme a BGD

Tabela 4.17 - Classificação segundo a BGD para a arriba Norte

| Zonas | Caracterização Geológica-Geotécnica simplificada (ISRM, 1981) | Descrição Geológica |
|-------|--|---|
| I | <u>Xisto argiloso</u> L ₄₋₅ ; F ₂ ; S ₃ ; A ₄ | <p>I_1 (W₃)</p> <p>Xistos argilosos cinzentos afetados por dobramentos, moderadamente meteorizados e com uma espessura reduzida.</p> <p>As fraturas existentes podem ser consideradas afastadas quanto ao seu espaçamento (média 184 cm).</p> <p>Quanto à sua persistência classificam-se como moderadamente persistentes, descontinuidades entreabertas a abertas, resultado de espetros de medições em zonas diferentes da arriba N.</p> <p>A presença de quartzo conjuntamente com a argila, como preenchimento dos espaços entre fraturas, demonstra uma maior resistência comparativamente com a rocha envolvente o que lhe confere um maior vigor ou estabilidade.</p> <p>A RCU é moderada, rondando os 50 MPa.</p> |
| | | <p>I_2 (W₄₋₅)</p> <p>Xistos argilosos descolorados, resultado de presença de água ao longo das paredes das fraturas originando uma descoloração característica na parte superior da arriba. As suas camadas apresentam-se com uma espessura na sua maioria reduzida.</p> <p>As fraturas encontram-se afastadas, entreabertas a abertas.</p> <p>O espaçamento é de cerca de 184 cm, e o valor médio da RCU é entre os 28 e os 50MPa.</p> |

Tabela 4.18 - Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD

| Resultados | | Zonas | I | | |
|------------|--|-------|--|-------------|-----------|
| | | | Método de recolha dos dados | Valor Médio | BGD |
| Parâmetros | Espessura das camadas (cm) | I_1 | Scanline N1 e N2 | 6-20 | L_{4-5} |
| | | I_2 | | | |
| | Espaçamento entre fraturas (cm) | I_1 | Scanline N1 e N2 | 184 | F_2 |
| | | I_2 | | | |
| | RCU (MPa) | I_1 | Ensaaios realizados nas scanlines N1 e N2, ou juntos às mesmas | 28 a 50 | S_3 |
| | | I_2 | | | |
| | ϕ - Ângulo de atrito ($^\circ$) | I_1 | Estimado tendo em conta a litologia ¹⁾ | 15 | A_4 |
| | | I_2 | | | |
| | Grau de meteorização | I_1 | Observação visual | - | W_3 |
| | | I_2 | | - | W_{4-5} |

1) Este valor foi considerado pelo facto de ambos os locais serem maioritariamente constituídos por xistos argilosos, podendo no entanto ser ponderado um ângulo de atrito (ϕ) de 22,5 (média de valores atribuídos para xistos e grauvaques) devido à presença de grauvaques.

4.2.1.2.2.2 GSI

A litologia xistosa, essencialmente argilosa, da arriba N justifica um perfil rugoso, inclinado de modo geral para N, exibindo em certas zonas do maciço uma deformação dúctil (Tabela 4.19 e Figura 4.35).

A exemplo de outras praias, e de forma a não perder objetividade na determinação do índice (GSI), recorreu-se a uma estimacção deste mesmo segundo um intervalo de valores e não apenas um valor único, como aconselhado por alguns autores (Brissos, 2013).

Tabela 4.19 - Avaliação do índice GSI para a arriba Norte

| Local | Composição e Estrutura | Condições das descontinuidades | GSI |
|----------|--|---|------------|
| Arriba N | Bancadas de xisto argiloso intensamente fraturadas. Com duas famílias principais de descontinuidades | Paredes moderadamente rugosas e meteorizadas, consideradas descoloradas a desintegradas | 25 ± 5 |
| | Classe F | Fraca a média qualidade | |



Figura 4.35 – Comparação entre o maciço rochoso na arriba N com a estrutura referente à classe F, definida por Marinos & Hoek, (2001)

4.2.1.2.3 Arriba Este

A arriba E (Figura 4.36) encontra-se quase totalmente coberta por vegetação, observando-se ao longo da sua frente inúmeras zonas de fluência de águas que elevam o grau de meteorização. Podem mesmo ser encontrados pontos de água provenientes de locais de pastagem ou regadio que culminam na praia junto a esta arriba (Figura 4.37).



Figura 4.36 – Vista da arriba Este, a partir da zona Sul da praia

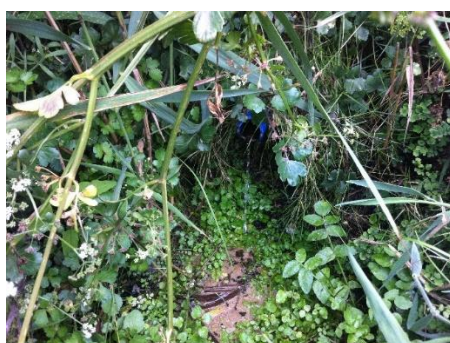


Figura 4.37 – Ponto de água na arriba E

4.2.1.2.4 Arriba Sul

A arriba S (Figura 4.38), constituída maioritariamente por xistos argilosos descolorados, apresenta-se moderadamente meteorizada (W3) nos locais com maior proximidade com a arriba E e aumentando o estado de meteorização no sentido W.



Figura 4.38 – Panorâmica da arriba Sul, e localização da estação S1

A estratificação das litologias tem pendor generalizado para N e a espessura das camadas é essencialmente centimétrica (L3 a L4-5) (Tabela 4.20). As fraturas apresentam continuidade muito reduzida a moderada e aberturas fechadas a muito largas, com uma rugosidade a variar entre R3 e R4-5. O enchimento, quando ocorre, é de quartzo. O RCU é de 38 MPa.

Tabela 4.20 - Características da estação S1

| Scanline S1 | Comprimento (m) | Localização | Azimute (°) | Inclinação (°) | Espessura das bancadas na zona | Espaçamento médio S (cm) | | Litologia |
|----------------|--------------------|---------------------------------|----------------|-------------------|---|-----------------------------|----------------|-------------------|
| | 3.93 | 8°47'41.292"W 37°51'41.777"N | 170 | 0 | L ₃ - L ₄₋₅ | 38.3 | F ₃ | Xisto argiloso |

O local onde foi realizada a *scanline* encontra-se atualmente sob o areal da praia, no entanto as medições refletem os parâmetros existentes para a respetiva continuidade do maciço neste local.

4.2.1.2.4.1 BGD

A classificação determinada para a arriba S inclui a subzona I₁ previamente definida para a base das arribas N e E. No sentido do mar, evidencia-se uma zona muito afetada pela meteorização e em que as características das fraturas presentes diferem das apresentadas anteriormente pela subzona I₂ (Figura 4.39, Tabela 4.21 e Tabela 4.22).



Figura 4.39 – Individualização das zonas definidas por aplicação da BGD, na arriba Sul

Tabela 4.21 - Classificação segundo a BGD para a arriba Sul

| Zonas | Caracterização Geológica-Geotécnica simplificada (ISRM, 1981) | | Descrição Geológica |
|-------|---|-------------------------------------|---|
| I | <u>Xisto argiloso</u> L ₄₋₅ ; F ₂ ; S ₃ ; A ₄ | I ₁ (W ₃) | Xistos argilosos cinzentos afetados por dobramentos, moderadamente meteorizados e com uma espessura reduzida. As fraturas existentes podem ser consideradas afastadas quanto ao seu espaçamento. Quanto à sua persistência classificam-se como moderadamente persistentes, descontinuidades entreabertas a abertas, resultado de espectros de medições em zonas diferentes da arriba N. A presença de quartzo conjuntamente com a argila, como preenchimento dos espaços entre fraturas, demonstra uma maior resistência comparativamente com a rocha envolvente o que lhe confere um maior vigor ou estabilidade. A RCU é moderada. |
| II | <u>Xisto argiloso descolorado</u> L _{3 a 4-5} ; F ₃ ; S ₃ ; A ₄ (W ₄₋₅) | | Xistos argilosos, localizados a W, afetados por descoloração, resultado da ação do mar durante a preia-mar ao longo das paredes das fraturas originando uma descoloração característica. As fraturas ostentam uma continuidade muito reduzida a moderada, e aberturas fechadas a muito largas. O seu espaçamento ronda os 38.3 cm. A espessura das camadas é essencialmente centimétrica. A RCU é de 38 MPa. |

Tabela 4.22 - Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD

| Resultados | | I (I ₁) | | | II | | |
|------------|---------------------------------|--|-------------|------------------|--|-------------|--------------------------------------|
| | | Método de recolha dos dados | Valor Médio | BGD | Método de recolha dos dados | Valor Médio | BGD |
| Parâmetros | Espessura das camadas (cm) | 1) | 6-20 | L ₄₋₅ | Scanline S1 | 6-60 | L _{3 a} L ₄₋₅ |
| | Espaçamento entre fraturas (cm) | 1) | 60-200 | F ₂ | Scanline S1 | 38.3 | F ₃ |
| | RCU (MPa) | 1) | 28 a 50 | S ₃ | Scanline S1 | 38 | S ₃ |
| | φ - Ângulo de atrito (°) | Estimado tendo em conta a litologia 2) | 15 | A ₄ | Estimado tendo em conta a litologia 2) | 15 | A ₄ |
| | Grau de meteorização | Observação visual | - | W ₃ | Observação visual | - | W ₄₋₅ |

Notas relativas à tabela:

- 1) Através de comparação com as *scanline* realizadas na arriba Norte
- 2) Este valor foi considerado pelo facto de ambos os locais serem maioritariamente constituídos por xistos argilosos, podendo no entanto ser ponderado um ângulo de atrito (Φ) de 22,5 (média de valores atribuídos para xistos e grauvaques) devido à presença de grauvaques.

4.2.1.2.4.2 GSI

A arriba Sul é caracterizada, em grande parte, por xistos argilosos descolorados que concebem uma estrutura desorganizada (Tabela 4.23). Este desarranjo, conjuntamente com a ação das ondas sobre o maciço, evidência material rochoso sem proteção na base (Figura 4.40).

A estimação do índice GSI é feito segundo um intervalo de valores e não apenas um valor único (Brissos, 2013).

Tabela 4.23 - Avaliação do índice GSI para a arriba Sul

| <i>Local</i> | Composição e Estrutura | Condições das descontinuidades | GSI |
|-------------------|--|--|------------|
| <i>Arriba Sul</i> | Bancadas de xisto argiloso apresentando uma intensa meteorização e descoloração, no sentido do mar, com uma família principal de descontinuidades. | Paredes mediana a moderadamente rugosas e meteorizadas, por vezes muito meteorizadas, apresentam-se desintegradas. | 10±5 |
| | Classe H | Muito fraca a fraca qualidade | |



Figura 4.40 – Comparação entre o maciço rochoso na arriba S com a estrutura referente à classe H, definida por Marinós & Hoek, (2001)

4.2.1.3 Zonamento Geomecânico

Para o zonamento geomecânico da frente das arribas estudadas na Praia do Serro da Águia, definiram-se duas zonas geomecânicas, a primeira subdividida em duas subzonas em virtude de uma desigualdade quanto ao estado de meteorização expresso pela descoloração da arriba para o topo. Desta forma, a arriba Norte foi subdividida em duas subzonas com diferenças ao nível da meteorização, sendo que I₂ se encontra influenciada pela ação da água superficial a partir da crista que flui nas fraturas pré-existentes.

Litologicamente a arriba Este (Figura 4.41) assemelha-se à arriba Norte, ainda que a presença de vegetação rasteira distribuída ao longo da arriba dificulte a sua avaliação. Pode ser considerada uma zona extremamente fraturada, nomeadamente na zona junto às escadas de acesso.



Figura 4.41 – Escadaria de acesso à praia, arriba E

Por conseguinte, a classificação segundo zonas para esta arriba enquadra-se com a previamente definida para a arriba N, segundo duas subzonas.

A subzona I₁ prolonga-se para a arriba Sul, apresentando um estado de meteorização moderado que se agrava à medida que a arriba avança em direção ao mar. Neste local, é definida uma segunda zona geomecânica, ainda que litologicamente e com um grau de meteorização equivalente, algumas propriedades do maciço como a espessura das respetivas camadas (centimétrica) e o espaçamento das fraturas (sensivelmente menor nesta parte da arriba Sul) diferem, impondo uma distinção.

Esta diferenciação pode, igualmente ser fundamentada por atuações contrárias ao nível de estabilidade em locais litologicamente semelhantes. Para a arriba N figura a possibilidade para a ocorrência de escorregamentos planares (Figura 4.42) e tombamentos, estes últimos como consequência da inclinação da estratificação para o interior do maciço.

Pode ser considerada a existência de condições propícias para eventuais movimentos planares e de cunha (pela interseção entre duas famílias) no local correspondente à figura seguinte (estação N1).



Figura 4.42 – Local de possível ocorrência de deslizamentos planares e de cunha, na arriba N

Eventuais tombamentos podem ser apoiados pela falta de material rochoso na base (fenómeno de subescavação basal), pelo facto de este local ser fortemente afetado durante a preia-mar (Figura 4.43).



Figura 4.43 - Possibilidade para tombamentos

Relativamente à arriba Sul, podem ser considerados viáveis escorregamentos planares em relação às superfícies de estratificação. A hipótese, quanto à ocorrência deste tipo de mecanismo, pode ser corroborada em virtude de um antigo escorregamento datado de 2010 por Costa & Caetano (2010) (Figura 4.44). Este terá deslocado um volume rochoso significativo, que presumivelmente se encontra transposto uns metros a seguir, para W, no sentido do mar (Figura 4.45).



Figura 4.44 – Escorregamento planar de grande volume na arriba Sul da Praia do Serro da Águia (Julho de 2010 e Agosto de 2015)



Figura 4.45 – Leixão situado a W, no sentido do mar, na arriba Sul (Agosto de 2015)

Desde o provável movimento em 2010, somente se reconhece, neste local, um desenvolvimento do estado de meteorização.

Denota-se contudo, no leixão a W na arriba Sul, uma evolução de outubro de 2014 para agosto de 2015, na sua base, no sentido em que se observam reentrâncias resultantes de subescavação do material rochoso que pode originar possíveis roturas por tombamento.

Uma apreciação estatística dos movimentos de rotura considerou o IRP como superior na arriba Sul, pelo contrário o IRT apresenta-se mais elevado para a arriba Norte reafirmando as observações anteriores. Os valores percentuais para o IRC, aproximam-se para a arriba N e S, ligeiramente mais elevados para a última.

Na arriba E, o IRP e IRT é pouco significativo, o IRC pode revelar-se reduzido com tendência para se demonstrar mais expressivo com a aproximação à arriba Sul.

Uma análise de sensibilidade à direção das arribas (N,E e S) e à inclinação da arriba S, pelo facto de manifestar um declive mais acentuado, viabiliza uma avaliação quanto à estabilidade com maior exatidão. O ângulo de atrito entre descontinuidades segue a tendência exposta para Buizinhos.

Quanto à variação do IRC este aumenta para uma direção azimutal (*dip direction*) entre 0° e 160° (atingindo um valor de 0.6), diminuindo a partir deste valor. O IRT, mais elevado entre 300° e 360°, aproxima-se do valor 0.4 ainda que com oscilações. O IRP apresenta um valor máximo de 0.4 para uma direção azimutal de 180°, com uma tendência decrescente após esta direção.

Na medida em que o declive da arriba Sul tende a aumentar, de modo consequente evoluem os índices de rotura, o IRC, para direção azimutal de 90°, atinge um valor de índice de 0.4, o IRP alcança um valor de aproximadamente 0.3 e o IRT de 0.2.

4.2.1.4 Reavaliação do risco preliminar

A Praia do Serro da Águia, numa primeira avaliação do risco, apresentou um risco elevado (IR=0.64), que permaneceu elevado numa segunda avaliação (Tabela 4.24 e Tabela 4.25).

Tabela 4.24 - Reavaliação do risco para as arribas da Praia do Serro da Águia

| Praia do Serro da Águia | PO | M | D | C | Perigosidade Aparente | Vulnerabilidade | Tipologia de praia | IR |
|--------------------------------|-----------|----------|----------|----------|------------------------------|------------------------|---------------------------|-----------|
| Avaliação preliminar de risco | 5 | 4 | 4 | 1 | 20 | 4 | - | 0.64 |
| Reavaliação do risco | 5 | 4 | 4 | 1 | 20 | 4 | - | 0.64 |

Tabela 4.25 - Escala para a definição de IR

| <i>Índice de Risco (IR)</i> | | |
|-----------------------------|------------------|--|
| <i>Muito Elevado</i> | ≥ 0.8 a 1 | |
| <i>Elevado</i> | ≥ 0.6 a 0.8 | |
| <i>Moderado</i> | ≥ 0.4 a 0.6 | |
| <i>Reduzido</i> | ≥ 0.2 a 0.4 | |
| <i>Não significativo</i> | < 0.2 | |

A praia em estudo expressa uma elevada perigosidade em consequência de inúmeras situações de instabilidade perceptíveis ou anteriores, e que originaram movimentações. As ocorrências precedentes, como o escorregamento planar de 2010, maximiza os parâmetros associados à perigosidade devido ao volume passível de ter sido deslocado.

Ao longo da crista do talude são visíveis fendas de tração, induzindo zonas de fraqueza estrutural no maciço, das quais a mais notória está situada na crista da arriba Sul, numa pequena enseada. Esta exhibe um conjunto de blocos que, por efeito da fenda de tração, podem sofrer destaque por tombamento (Figura 4.46 e Figura 4.47).



Figura 4.46 – Localização da instabilidade por tombamento durante a baixa-mar, vista da arriba N (à esq.) e durante a preia-mar, vista da arriba contrária (à dir.)



Figura 4.47 - Potencial situação de tombamento de alguns blocos destacados por fendas

O conjunto de blocos instáveis apresenta um risco moderado a baixo, atendendo à localização da instabilização sobre o mar e ao difícil acesso à mesma. Não obstante, os utentes durante a baixa-mar, predispõem-se a ocupar o espaço entre o leixão e a restante parte da arriba Sul, razão pela qual o risco de queda permanece médio para este local.

As estruturas referidas (escorregamento planar de 2010 e possíveis quedas por meio de fendas de tração na crista sul) não apresentaram desde essa data uma evolução apreciável que indique instabilização eminente, merecendo porém uma avaliação cuidada, e mais premente, uma sinalização de perigo eficaz para evitar a aproximação dos utentes a esta reentrância da praia.

A Praia do Serro da Águia apresenta um valor de IR moderado comparativamente com outras praias semelhantes em termos de dimensões, como por exemplo a Praia dos Buizininhos, dado que a primeira se encontra relativamente distante do centro da vila de Porto Covo.

Não obstante a elevada perigosidade associada às situações de instabilidade referidas na praia em estudo, em parte estas desenvolvem-se diretamente sobre o mar, reduzindo o eventual dano potencial. Todavia, verifica-se uma tendência de ocupação de locais mais próximos da base das arribas quer durante a baixa-mar, como à medida que o areal, já de si reduzido, é ocupado pelo avanço da ondulação durante a preia-mar (Figura 4.48).



Figura 4.48 - Ocupação da base das arribas como local eleito pelos veraneantes, na Praia do Serro da Águia

O facto de o areal cobrir parte da base do leixão, na arriba Sul (Figura 4.49), dependendo da estação do ano, possibilita uma intervenção marítima sobre a arriba atingindo os locais superiores da mesma, criando instabilização nestas zonas.



Figura 4.49 - Leixão situado na arriba Sul, parcialmente coberto em Agosto de 2015 (à dir.)

A pressão exercida sobre a crista (Figura 4.50), quer por meio de estacionamento indevido no topo da crista, quer pela tensão que o tráfego da estrada adjacente à arriba E impõe, revela-se uma situação potenciadora de instabilizações, justificada pela meteorização e fendas pré-existentes já referidas anteriormente para esta zona.



Figura 4.50 - Pressão exercida sobre o topo da arriba

4.2.1.5 Avaliação qualitativa e quantitativa do índice de qualidade dos taludes

Para a Praia do Serro da Águia, e com o objetivo de classificar o grau de risco do talude para avaliação do seu índice de qualidade, estabeleceu-se, como já referido anteriormente na introdução deste capítulo, um valor entre 1 e 5 (Tabela.4.3).

Segundo a avaliação do potencial de queda de blocos por Pinheiro *et al.*, 2014, o talude apresenta um risco médio, para uma pontuação obtida para o sistema RHRSm2 de 264 (Tabela 4.26), equivalendo a um *rating* de 3 (Tabela 4.1) para o cálculo do índice de qualidade.

Tabela 4.26 - Aplicação do sistema RHRSm2 para a Praia do Serro da Águia

| Sistema RHRSm2 | | |
|------------------------------|--|------------|
| Categoria | Dados | Pontuação |
| Altura do talude | 9 - 12 m | 9 |
| Inclinação | 30-40° | 9 |
| Zona de Influência | Muito Perto | 81 |
| Condição Estrutural | Descontinuidades com orientação desfavorável | 27 |
| Alteração do Maciço | W3 - W4-5 | 27 |
| Erosão | Elevada | 27 |
| Tamanho dos blocos | 0.68 | 9 |
| Volume de blocos por evento | NA | NA |
| Quantidade de blocos | Alguns | 27 |
| Irregularidade da face | Alta | 27 |
| Presença de água | Húmido | 9 |
| Historial de queda de blocos | Quedas ocasionais | 9 |
| Clima | Baixa precipitação | 3 |
| Total | | 264 |
| *NA - Não Aplicável | | |

Para o cálculo do índice de qualidade das arribas da Praia do Serro da Águia, obteve-se um índice de 3.3 (Quadro 4.2), podendo afirmar-se que o grau de risco é médio requerendo ações de monitorização e manutenção. As vibrações e o tráfego existente nas proximidades da praia, resultado da estrada situada na retaguarda da mesma, provocou um aumento do índice de qualidade da praia.

| Cálculo do Índice de qualidade do talude | | | | | | | |
|--|----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------|--|--------------------|
| Fator | Peso (W) | Parâmetro | Ponderação dos Parâmetros (Wi') | Dados | Rating (Xi') | Cálculo da cotação atribuída a cada um dos parâmetros (Xi) | Cálculo de W*Σ(Xi) |
| Geológico | 0.20 | Tipo de Litologia | 0.30 | Xisto-Argilosa | 5 | 1.5 | 0.8 |
| | | Grau de Alteração do maciço | 0.20 | W3 - W4-5 | 4 | 0.8 | |
| | | Fraturação | 0.20 | Sim | 4 | 0.8 | |
| | | Sistema RHRSm2 | 0.30 | 264 | 3 | 0.9 | |
| Geométrico | 0.22 | Altura do Talude | 0.45 | 9 - 12 m | 2 | 0.9 | 0.44 |
| | | Inclinação do Talude | 0.55 | 30-40° | 2 | 1.1 | |
| Ambiental/Tráfego | 0.10 | Precipitação Média Anual | 0.40 | 500-1000mm | 3 | 1.2 | 0.27 |
| | | Velocidade Máxima de Tráfego | 0.10 | 60-70 | 2 | 0.2 | |
| | | Tráfego Médio Diário | 0.10 | <18000 | 1 | 0.1 | |
| | | Zona Sísmica Tipo 1 | 0.20 | 1.3 | 3 | 0.6 | |
| | | Zona Sísmica Tipo 2 | 0.20 | 2.3 | 3 | 0.6 | |
| Inspeções Visuais | 0.14 | Estado de Conservação | 0.60 | Médio | 3 | 1.8 | 0.42 |
| | | Estado de Manutenção | 0.40 | Mau | 3 | 1.2 | |
| Historial | 0.10 | Intervenções | NA | NA | NA | NA | 0.325 |
| | | Queda de Blocos | 0.25 | Sim - Relativamente Ativa | 4 | 1.0 | |
| | | Deslizamento Planar | 0.25 | Sim - Algun | 3 | 0.8 | |
| | | Rotura por Cunha | 0.25 | Sim - Relativamente Ativa | 4 | 1.0 | |
| | | Diretriz Circular | 0.25 | Inativa | 2 | 0.5 | |
| Imediações | 0.12 | Sobrecargas | 0.60 | Sim | 5 | 3.0 | 0.6 |
| | | Vibrações nas Proximidades | 0.40 | Sim | 5 | 2.0 | |
| Revestimento | 0.12 | Existência de Cobertura Vegetal | 1 | Pontual | 4 | 4.0 | 0.48 |
| | | Proteção Superficial | NA | NA | NA | NA | |
| Índice de Qualidade (I) | | | | | | | 3.335 |
| *NA - Não Aplicável | | | | | | | |

Quadro 4.2- Aplicação da metodologia de cálculo do índice de qualidade para a Praia do Serro da Água

4.2.2 Praia Grande

4.2.2.1 Descrição geral e avaliação da problemática

A Praia Grande, localizada no extremo noroeste da aldeia de Porto Covo, é considerada como uma das praias mais célebres e frequentadas da região durante a época balnear, procurada por locais e turistas. É acessível a pé desde Porto Covo, ainda que possua um parque de estacionamento localizado na crista da arriba Sul, com capacidade para 170 lugares, muitos deles ocupados por autocaravanas (Figura 4.51 e Figura 4.52). O seu areal é caracterizado por apresentar uma extensão média, cerca de 250 m, com areia fina e água transparente.

A Praia Grande (Figura 4.53), considerada praia não urbana com uso intensivo (tipo II), é vigiada e detém bandeira azul desde há vários anos, com uma média de 600 utentes durante a época balnear. Para além do parque de estacionamento, dispõe de um apoio de praia e um restaurante ou café bar junto à arriba Este. O acesso à praia é efetuado por duas escadarias, uma mais antiga a W e outra mais recente, que se encontram no lado sul da praia. Esta praia é também frequentada por praticantes de desportos náuticos.



Figura 4.51 – Serviços e infraestruturas da Praia Grande, Porto Covo



Figura 4.52 – Vista Sul, Praia Grande

A litologia é predominantemente xisto argilosa, arriba N e E, sendo, pelo contrário, a arriba S é caracterizada por uma litologia xisto siliciosa com a presença de alguns níveis de quartzitos da “Formação de São Luís”. As camadas apresentam uma inclinação para NE, e espessura reduzida a moderada (L₄₋₅ e L₃), ainda que um pouco deformadas.

Quanto ao estado de meteorização, este varia entre W₁₋₂, na arriba Sul, a W₃, na arriba Norte, e W₄₋₅ pontualmente em zonas associadas a exsurgências, na arriba Este.



Figura 4.53 – Praia Grande, Porto Covo

4.2.2.2 Caracterização geológica-geotécnica das arribas por locais

Na Praia Grande, circunscrita a Norte, Este e Sul por arribas altas subverticais, o estudo foi elaborado e segmentado segundo as três arribas dada a extensão da praia, e as estações previamente existentes, tendo em consideração os seus parâmetros geológicos e geotécnicos (Figura 4.54 e Tabela 4.27).

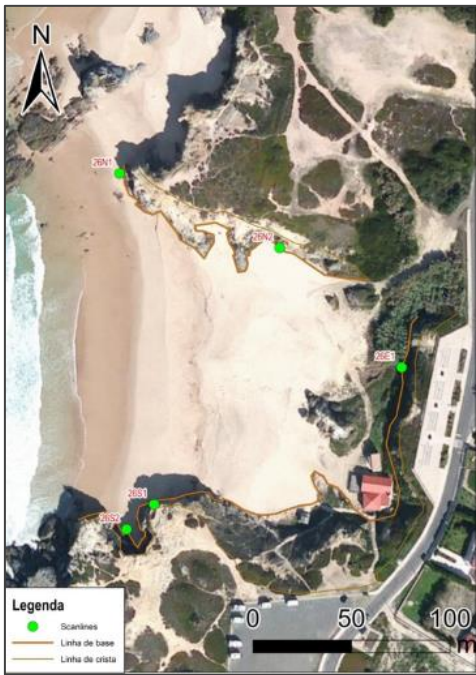


Figura 4.54 – Vista aérea da Praia Grande e localização aproximada das estações (scanlines)

Tabela 4.27 - Dados relativos às arribas e respetivas divisões em locais na Praia Grande

| Arriba | Nº Scanlines | Scanline | Litologia | Altura da arriba (m) |
|----------|--------------|----------|-------------------|----------------------|
| N | 2 | N1; N2 | Xistos argilosos | 10 |
| E | 1 | E1 | Xistos argilosos | 8 |
| S | 2 | S1, S2 | Xistos siliciosos | 10 |

A crista, como parte integrante quanto ao estudo de estabilidade da Praia Grande, revela xistos argilosos e siliciosos geralmente, inclinados no sentido NE, com um estado de meteorização a variar entre W1-2 a W3 consoante a zona da arriba.

Na zona da crista, correspondente à arriba Este, observam-se vários blocos sobressaídos ou salientes (Figura 4.55).



Figura 4.55 – Blocos destacados na zona da crista da arriba E

A crista da arriba Norte particulariza um desnivelamento de cerca de 2m (Figura 4.56), próximo do topo da arriba. Contudo, não se verifica a existência de fendas de tração que poderiam causar uma instabilidade acrescida.



Figura 4.56 – Desnível na crista da arriba Norte

4.2.2.2.1 Arriba N

O maciço rochoso na arriba Norte (Figura 4.57), descrito por uma litologia xisto argilosa inclinada segundo NE, moderadamente meteorizada (W_3), com uma maior frequência de descoloração nas camadas para o topo da arriba.

É caracterizado por uma intensa fracturação, o que se traduz em diversas situações de instabilidade originando um perfil rugoso.



Figura 4.57 – Panorâmica da arriba Norte, e localização das estações N1 e N2

A estação N1 (Figura 4.58 e Tabela 4.28) encontra-se associada a uma zona de xistos argilosos que se dispõem conforme finas lâminas, e apresentam um estado de meteorização baixo. Por outro lado, a estação N2, associada a uma zona em que os xistos argilosos, laminados, ostentam uma elevada descoloração e alguma friabilidade (W_3), por vezes muito meteorizados (W_{4-5}), em locais que congregam exurgências de água ao longo da vertente, diferindo, deste modo, a rugosidade das paredes das fraturas, e consequentemente da própria arriba, pouca rugosa (R_{1-2}) para a zona referente a N1 e medianamente rugosa (R_3) para a zona relativa à estação N2.

Ambas possuem um enchimento de quartzo, ainda que na zona da estação N2 (Figura 4.60) com menor regularidade (Figura 4.59).



Figura 4.58 – Pormenor da estação N1

Os elementos identificados em N1 corresponderão, maioritariamente, a fendas de tração associadas à tectónica local.



Figura 4.59 – Fraturas preenchidas por quartzo

Tabela 4.28 - Características da estação N1

| Scanline N1 | Comprimento (m) | Localização | Azimuth (°) | Inclinação (°) | Espessura das bancadas na zona | Espaçamento médio S (cm) | | Litologia |
|----------------|--------------------|---------------------------------|----------------|-------------------|---|-----------------------------|----------------|-------------------|
| | 2.80 | 8°47'43,213"W 37°51'26,519"N | 156 | 0 | L ₄₋₅ | 38.6 | F ₃ | Xisto argiloso |



Figura 4.60 – Localização das estação N2, na arriba N

A RCU média, em N1, é de 54MPa e 52MPa para N2. Todavia, deveria existir uma diferença mais acentuada quanto ao valor da RCU, pelo facto de o estado de meteorização dos xistos argilosos na estação N2 (Tabela 4.29) se apresentar mais meteorizado. O facto de o ensaio, em N1, se ter realizado numa superfície paralela à estratificação e xistosidade, a rugosidade derivada das laminações xistentas pode ter interferido e subestimado os resultados da resistência à compressão uniaxial.

Tabela 4.29 - Características da estação N2

| Scanline N2 | Comprimento (m) | Localização | Azimute (°) | Inclinação (°) | Espessura das bancadas na zona | Espaçamento médio S (cm) | | Litologia |
|------------------------|--------------------|---------------------------------|----------------|-------------------|---|-----------------------------|----------------|-------------------|
| | 2.50 | 8°47'39,784"W 37°51'25,303"N | 104 | 0 | L ₄₋₅ | 21.5 | F ₃ | Xisto argiloso |

4.2.2.2.1.1 BGD

O estado de meteorização do maciço, na zona definida como I_2 , afetado por meio de exsurgências de água no topo, promove um elevado grau de meteorização na parte superior da frente da arriba, como se descreve segundo a BGD definida para a arriba Norte (Figura 4.61, Tabela 4.30 e Tabela 4.31).

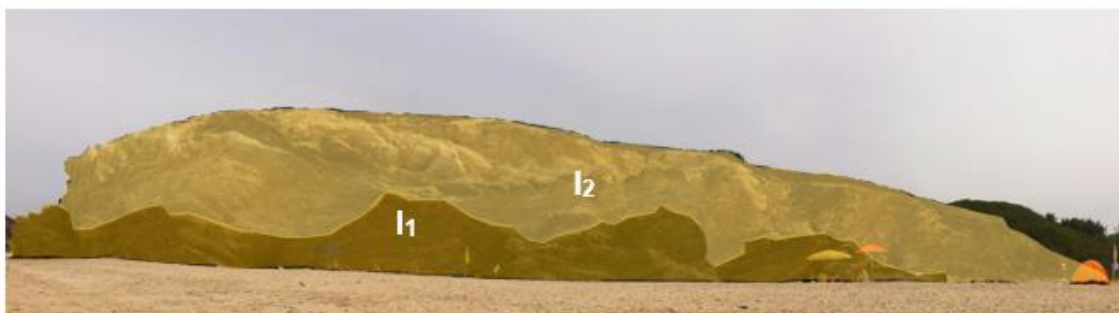


Figura 4.61 – Panorâmica da arriba Norte para efeitos de classificação conforme a BGD

Tabela 4.30 - Classificação segundo a BGD para a arriba Norte

| Zonas | Caracterização Geológica-Geotécnica simplificada (ISRM, 1981) | Descrição Geológica |
|----------|--|--|
| I | Xisto argiloso L ₄₋₅ ; F ₃ ; S ₃ ; A ₄ | I₁ (W ₃) Xistos argilosos negros finamente laminados. Estas camadas, com uma espessura reduzida, presentes na base da arriba N, apresentam um grau de meteorização baixo a moderado, em que menos de metade do material se encontra decomposto. O material presente nesta zona evidencia a presença de filonetes de quartzo como enchimento das fraturas. Estas encontram-se moderadamente afastadas, com uma abertura que varia entre fechada a muito larga. Quanto à sua persistência são muito pouco a pouco contínuas. A sua RCU média é moderada, aproximadamente 54 MPa. |
| | | I₂ (W ₄₋₅) Xistos argilosos sob elevada descoloração, nas camadas (espessura reduzida) para o topo da arriba, ostentando alguma friabilidade, qualificados como muito meteorizados a decompostos. As fraturas comparecem muito pouco a moderadamente contínuas, moderadamente afastadas e abertas a muito largas. A RCU nesta zona é de cerca de 52MPa. |

Tabela 4.31 - Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD

| Resultados | | Zonas | I | | |
|------------|---------------------------------|----------------|--|-------------|------------------|
| | | | Método de recolha dos dados | Valor Médio | BGD |
| Parâmetros | Espessura das camadas (cm) | I ₁ | Scanline N1 e N2 | 6-20 | L ₄₋₅ |
| | | I ₂ | | | |
| | Espaçamento entre fraturas (cm) | I ₁ | Scanline N1 e N2 | 38.6 | F ₃ |
| | | I ₂ | | 21.5 | |
| | RCU (MPa) | I ₁ | Ensaaios realizados nas scanlines N1 e N2, ou juntos às mesmas | 54 | S ₃ |
| | | I ₂ | | 52 | |
| | ϕ - Ângulo de atrito (°) | I ₁ | Estimado tendo em conta a litologia ¹⁾ | 15 | A ₄ |
| | | I ₂ | | | |
| | Grau de meteorização | I ₁ | Observação visual | - | W ₃ |
| | | I ₂ | | - | W ₄₋₅ |

1) Este valor foi considerado pelo facto de ambos os locais serem maioritariamente constituídos por xistos argilosos, podendo no entanto ser ponderado um ângulo de atrito (ϕ) de 22,5 (média de valores atribuídos para xistos e grauvaques) devido à presença de grauvaques.

4.2.2.2.1.2 GSI

A presença de xistosidade aliada a uma fracturação acentuada origina um comportamento isotrópico do maciço nesta arriba cujo estado das superfícies das descontinuidades mostra descoloração e desintegração. Não obstante o seu revestimento figura-se compacto e com fragmentos angulosos o que revela uma pertença à classe F (Figura 4.62 e Tabela 4.32).

Tabela 4.32 - Avaliação do índice GSI para a arriba Norte

| Local | Composição e Estrutura | Condições das descontinuidades | GSI |
|----------|--|---|------|
| Arriba N | Bancadas de xisto argiloso intensamente fraturadas e deformadas. Com duas famílias principais de descontinuidades | Paredes moderadamente rugosas e meteorizadas, consideradas descoloradas a desintegradas. Por vezes preenchidas por quartzo. | 20±5 |
| | Classe F | Fraca a média qualidade | |



Figura 4.62 – Comparação entre o maciço rochoso na arriba N com a estrutura referente à classe F, definida por Marinós & Hoek, (2001)

4.2.2.2.2 Arriba E

A arriba Este (Figura 4.63) é caracterizada por xistos argilosos finamente laminados com elevada descoloração e alguma friabilidade ao toque, o que lhe confere um estado de meteorização moderado (W_3), por vezes com uma meteorização superior (W_{4-5}) resultado de exsurgências de água no maciço. De modo consequente, as fraturas presentes podem conter enchimento argiloso (mais para o topo), em consequência da meteorização dos xistos.



Figura 4.63 – Panorâmica da arriba E, e localização da estação E1

As paredes das descontinuidades apresentam uma rugosidade tipo R_3 (medianamente rugosa), são muito pouco a pouco contínuas e fechadas a medianamente largas quanto à sua abertura (Figura 4.64 e Tabela 4.33).



Figura 4.64 – Pormenor da estação E1

Tabela 4.33 - Características da estação E1

| Scanline E1 | Comprimento (m) | Localização | Azimute (°) | Inclinação (°) | Espessura das bancadas na zona | Espaçamento médio S (cm) | | Litologia |
|----------------|--------------------|-------------------------------|----------------|-------------------|---|-----------------------------|----------------|-------------------|
| | 3.80 | 37°51'26.20"N 8°47'33.83"W | 170 | 10 | L ₄₋₅ | 37.8 | F ₃ | Xisto argiloso |

A RCU média é de 42 MPa, aproximando-se dos resultados anteriores para a arriba Norte, verificando-se, no entanto, um valor ligeiramente menor que poderá provir de um grau de meteorização W_{4-5} mais disseminado ao longo do maciço.

Considera-se que a classificação segundo a BGD para a arriba E se enquadra nos padrões e características definidas para a arriba N.

4.2.2.2.3 Arriba Sul

A arriba Sul (Figura 4.65 e Figura 4.66), distinta das arribas Norte e Este, pela sua litologia xisto siliciosa é caracterizada por alguma descoloração (W_{1-2}).



Figura 4.65 – Panorâmica da arriba S, e localização da estação S1 e S2

A rugosidade nas paredes das fraturas é muito rugosa, do tipo R_{4-5} , para S1 (Figura 4.67 e Tabela 4.34) e S2 (Figura 4.68 e Tabela 4.35). A persistência das fraturas pode ser considerada muito pouco a pouco contínua, para S1, e muito pouco a moderadamente contínuas, para S2.



Figura 4.66 – Preenchimento de fraturas na arriba Sul por quartzo



Figura 4.67 – Pormenor da estação S1

Tabela 4.34 - Características da estação S1

| Scanline S1 | Comprimento (m) | Localização | Azimute (°) | Inclinação (°) | Espessura das bancadas na zona | Espaçamento médio S (cm) | | Litologia |
|----------------|--------------------|---------------------------------|----------------|-------------------|---|-----------------------------|----------------|--------------------|
| | 3.80 | 8°47'42,472"W 37°51'21,086"N | 304 | 0 | L ₄₋₅ | 31.7 | F ₃ | Xisto silicioso |

A RCU é de 138 MPa e 90 MPa para a estação S1 e S2, respetivamente. A diferença de valores dentro da mesma arriba pode ser resultado de uma intensa fracturação da zona do maciço relativa ao local do ensaio, em S2, podendo estas ter absorvido parte da energia do impacto.



Figura 4.68 - Pormenor da estação S2

Tabela 4.35 - Características da estação S2

| Scanline S2 | Comprimento (m) | Localização | Azimute (°) | Inclinação (°) | Espessura das bancadas na zona | Espaçamento médio S (cm) | | Litologia |
|----------------|--------------------|---------------------------------|----------------|-------------------|---|-----------------------------|----------------|--------------------|
| | 3.80 | 8°47'42,988"W 37°51'20,688"N | 338 | 0 | L ₄₋₅ | 13.6 | F ₄ | Xisto silicioso |

4.2.2.2.3.1 BGD

A classificação determinada para a arriba Sul permitiu diferenciá-la segundo uma zona, como é apresentada na Figura 4.69, e descrita segundo a Tabela 4.36 e Tabela 4.37.



Figura 4.69 – Panorâmica da arriba Sul para efeitos de classificação segundo a BGD

Tabela 4.36 - Classificação segundo a BGD para a arriba Sul

| Zonas | Caracterização Geológica-Geotécnica simplificada (ISRM, 1981) | Descrição Geológica |
|-------|---|--|
| II | <u>Xistos siliciosos</u> L ₄₋₅ ; F ₃ ; S ₂ ; A ₄ W ₁₋₂ | Xistos siliciosos caracterizados por uma ligeira meteorização, observando-se somente pequenas mudanças na cor original da matriz. Quanto à sua abertura, apresentam-se fechadas a muito largas, e com enchimento de quartzo nas suas fraturas. Podem ser caracterizadas como muito pouco a moderadamente contínuas, no que refere à persistência. As fraturas existentes podem ser consideradas moderadamente afastadas quanto ao seu espaçamento, e com uma espessura reduzida, resultado de duas medições em zonas distintas, ainda que uma destas possa ter sido afetada por uma elevada densidade de fracturação, o que perfaz uma RCU média de 114 MPa. |

Tabela 4.37 - Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD

| Resultados | | II | | |
|------------|---------------------------------|---|-------------|------------------|
| | | Método de recolha dos dados | Valor Médio | BGD |
| Parâmetros | Espessura das camadas (cm) | Scanline S1 e S2 | 6-20 | L ₄₋₅ |
| | Espaçamento entre fraturas (cm) | Média Scanline S1 S2 | 22.6 | F ₃ |
| | RCU (MPa) | Scanline S1 e S2 | 114 | S ₂ |
| | ϕ - Ângulo de atrito (°) | Estimado tendo em conta a litologia ¹⁾ | 15 | A ₄ |
| | Grau de meteorização | Observação visual | - | W ₁₋₂ |

- 1) Este valor foi considerado pelo facto de ambos os locais serem maioritariamente constituídos por xistos argilosos, podendo no entanto ser ponderado um ângulo de atrito (ϕ) de 22,5 (média de valores atribuídos para xistos e grauvaques) devido à presença de grauvaques.

4.2.2.2.3.2 GSI

Trata-se de uma arriba constituída por xistos siliciosos pouco meteorizados (Figura 4.70), com elevada presença de fraturas ao longo da mesma o que, apesar de se encontrarem moderadamente afastadas, confere ao maciço uma estrutura desorganizada no seu todo (Tabela 4.38).

A estimação do índice GSI é feito segundo um intervalo de valores e não apenas um valor único (Brissos, 2013).

Tabela 4.38 - Avaliação do índice GSI para a arriba Sul

| <i>Local</i> | Composição e Estrutura | Condições das descontinuidades | GSI |
|-------------------|---|--|------------|
| <i>Arriba Sul</i> | Bancadas de xisto silicioso pouco meteorizadas, com uma família principal de descontinuidades | Paredes mediana a moderadamente rugosas, e pouco meteorizadas. Com preenchimento de quartzo. | 35±5 |
| | Classe D | Moderada a fraca qualidade | |

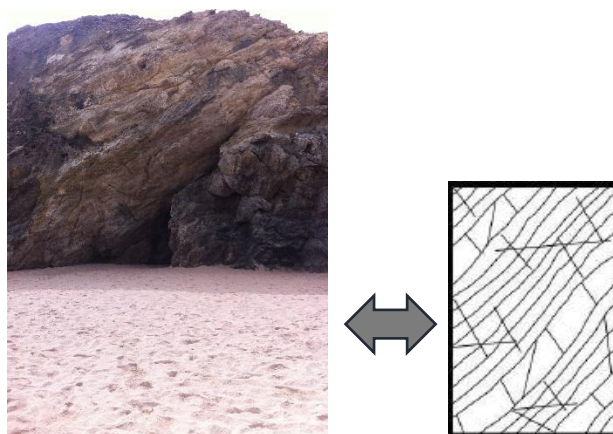


Figura 4.70 – Comparação entre o maciço rochoso na arriba S com a estrutura referente à classe D, definida por Marinos & Hoek, (2001)

4.2.2.3 Zonamento Geomecânico

O zonamento geomecânico definido para as arribas da Praia Grande, incidiu em dois pontos diferenciadores, sendo eles a litologia existente e grau de meteorização e fracturação associado. Por conseguinte, tendo em consideração que as arribas N e E detinham o mesmo tipo de litologia, xistos argilosos, estas foram enquadradas na zona I. Contudo, dentro das próprias arribas, era visível um aumento da meteorização para o topo da arriba o que levou a um emprego de duas subzonas dentro da zona I, visto estas se diferenciarem maioritariamente como resultado do estado de meteorização. A arriba Sul, por outro lado caracterizada por xistos siliciosos pouco meteorizados, foi enquadrada numa segunda zona tendo em consideração as suas características litológicas, superfícies de descontinuidade e a sua meteorização.

As situações de instabilidade, associadas à arriba Norte, variam, desde escorregamentos planares (Figura 4.72), como também deslizamentos em cunha, resultado de uma conjuntura de interseções entre famílias de fraturas que viabiliza este tipo de movimento. É de referir a

eventualidade quanto a possíveis tombamentos por meio da estratificação presente nas camadas de xistos argilosos, que inclina para o interior do maciço, particularmente propício nas zonas da arriba no topo que se apresentam destacadas em relação ao restante maciço, logo formando as designadas consolas, que na ausência de suporte basal, criam situações de instabilidade (Figura 4.71).



Figura 4.71 – Ocorrências de potenciais tombamentos no trecho a W da arriba N



Figura 4.72 – Possibilidade para escorregamento planar, arriba N

Na arriba Este não se verifica a possibilidade para a ocorrência de escorregamentos planares. Porém, deslizamentos em cunha são possíveis através da interseção entre a estratificação das camadas e a fracturação. No que respeita a eventuais tombamentos, tal como ocorre na arriba Norte, estes demonstram ser possíveis, resultado da inclinação das bancadas para o interior do maciço.

A arriba Sul, em virtude de uma inclinação não muito acentuada, baixa meteorização e boas características mecânicas quanto às superfícies das discontinuidades, somente conforme nos aproximamos para W, no sentido do mar, é que se verifica a possibilidade de ocorrência de escorregamentos planares pelas superfícies de estratificação, bem como, deslizamentos em cunha pela interseção entre a estratificação e a fracturação presente (Figura 4.73).



Figura 4.73 – Superfícies de estratificação a inclinar para o interior do maciço, na arriba Sul

4.2.2.4 Reavaliação do risco preliminar

A Praia Grande, numa avaliação preliminar, revelou um índice de risco elevado, principalmente majorado pela sua vulnerabilidade a possíveis situações de instabilidade (Tabela 4.39 e Tabela 4.40).

Tabela 4.39 - Reavaliação do risco para as arribas da Praia Grande

| Praia Grande | <i>PO</i> | <i>M</i> | <i>D</i> | <i>C</i> | <i>Perigosidade Aparente</i> | <i>Vulnerabilidade</i> | <i>Tipologia de praia</i> | <i>IR</i> |
|-------------------------------|-----------|----------|----------|----------|------------------------------|------------------------|---------------------------|-----------|
| Avaliação preliminar de risco | 4 | 4 | 5 | 1 | 16 | 5 | II | 0.64 |
| Reavaliação do risco | 4 | 4 | 5 | 1 | 16 | 5 | II | 0.64 |

Tabela 4.40 - Escala para a definição de IR

| <i>Índice de Risco (IR)</i> | | |
|-----------------------------|------------------|--|
| <i>Muito Elevado</i> | ≥ 0.8 a 1 | |
| <i>Elevado</i> | ≥ 0.6 a 0.8 | |
| <i>Moderado</i> | ≥ 0.4 a 0.6 | |
| <i>Reduzido</i> | ≥ 0.2 a 0.4 | |
| <i>Não significativo</i> | < 0.2 | |

Como já referido, esta praia situada próximo de Porto Covo, por ser possível o seu acesso a pé desde a vila, o facto de ser uma praia vigiada por nadadores-salvadores durante a época balnear, a existência de apoio de praia com balneários e para efeitos sanitários e de primeiros socorros e um café/bar, estes fatores representam atributos e particularidades que a tornam mais vulnerável.

Além disso, o elevado estado de fracturação do maciço rochoso ao longo da praia promove a ação dos agentes erosivos. Particularmente, os trechos situados mais a W, na arriba Norte e Sul, são diretamente afetados pela solicitação marinha durante a preia-mar o que cria potenciais situações instabilidade.

As camadas, na arriba Norte, indiciam alguma deformação devido a diversas dobras, subescavadas na base e associadas à zona de charneira das mesmas. A existência de uma estrutura em sinforma na arriba N (Figura 4.74), coincidente com um local afetado por subescavação basal, pode significar uma possível zona de fraqueza estrutural.



Figura 4.74 – Presença de sinforma, na arriba Norte

Certas fraturas ao longo da arriba Norte, e pontualmente na arriba Este, encontram-se preenchidas por veios de quartzo que, pelo facto de exibirem uma resistência superior à rocha onde se encontram encaixados, confere-lhes um destaque ao longo da arriba. Como estes filonetes estão presentes maioritariamente na zona mais afetada pela subida do mar, podem oferecer uma maior resistência nesta zona, o que poderá influenciar positivamente a estabilidade do maciço. A arriba Sul, devido à sua componente siliciosa e RCU média superior, não apresenta situações de grande instabilidade, comparativamente às restantes.

É de referir que ao longo da arriba Este se encontra instalado um dreno de crista de talude com o intuito de recolher águas de escorrência superficial. Esta necessidade advém das situações de instabilidade mais marcantes se encontrarem neste trecho, por ação da fracturação subvertical que compartimenta o maciço, e cria destaques de blocos suscetíveis a queda caso não exista suporte na base.

O café/bar e o apoio de praia, em funcionamento durante a época balnear, localizados na arriba Este no limite SE da praia, encontram-se sob um elevado risco em virtude dos blocos em destaque que se observam no topo da arriba, existindo a possibilidade de estes sofrerem rotura por corte ou tombamento (Figura 4.75).





Figura 4.75 – Eventuais situações de perigosidade localizadas na arriba Este, sobre o café/bar

Como a Praia detém um areal extenso, as eventuais situações de perigosidade ao longo das arribas poderão ter, assim, um maior efeito sob o café/bar que se encontra posicionado na direção dos potenciais tombamentos.

Tanto a crista como a frente das arribas N, E e S apresentam cobertura vegetal que, neste local, previnem a formação de figuras de erosão superficial que pode representar uma ação suavizante perante instabilizações (Figura 4.76).

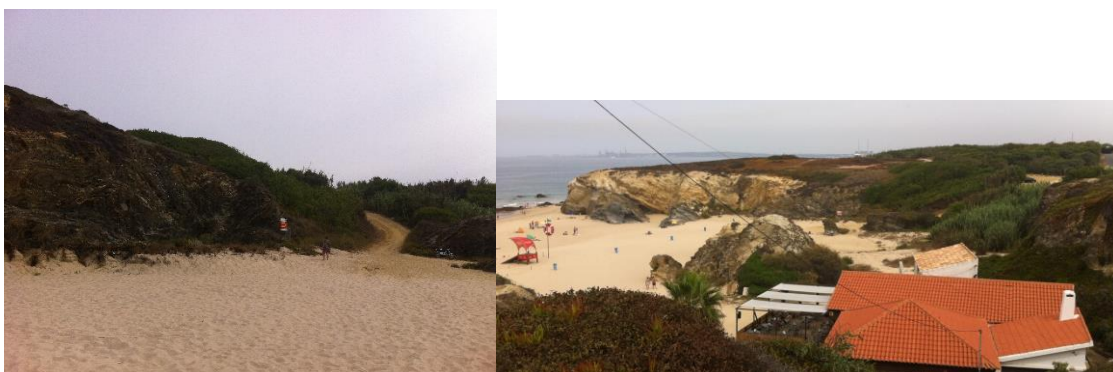


Figura 4.76 – Cobertura vegetal ao longo das arribas da Praia Grande

As escadarias de acesso à praia (Figura 4.77), situadas na arriba Sul, podem ser consideradas como um local de fraqueza estrutural do maciço devido ao estado do material rochoso que as rodeia, em que se encontram destacados pequenos blocos xistentos ao longo da arriba.



Figura 4.77 – Escadaria mais recente, na arriba Sul

As escadas, mais a W, revelam-se perigosas ao nível da segurança, pelo facto dos seus degraus se encontrarem gastos e escorregadios, acumulando, por vezes, material proveniente da meteorização dos xistos nesta zona (Figura 4.78).



Figura 4.78 – Caminho de acesso à praia, a W, que se encontra do lado sul da praia

4.2.2.5 Avaliação qualitativa e quantitativa do índice de qualidade dos taludes

Para a Praia Grande, e com o objetivo de classificar quantitativa e qualitativamente do estado de qualidade do talude foi primeiramente efetuada uma avaliação do potencial de queda de blocos por Pinheiro *et al.*, 2014. Constatando que o talude apresenta um risco médio, para uma pontuação obtida para o sistema RHRSm2 de 186 (Tabela 4.41), equivalendo a um rating de 3 (Tabela 4.1) para o cálculo do índice de qualidade.

Tabela 4.41 - Aplicação do sistema RHRSm2 para a Praia Grande

| Sistema RHRSm2 | | |
|------------------------------|--|------------|
| Categoria | Dados | Pontuação |
| Altura do talude | 8-10m | 9 |
| Inclinação | 30-40 | 9 |
| Zona de Influência | Média | 9 |
| Condição Estrutural | Descontinuidades com orientação desfavorável | 27 |
| Alteração do Maciço | W3 - W4 | 27 |
| Erosão | Elevada | 27 |
| Tamanho dos blocos | 0.19 | 3 |
| Volume de blocos por evento | NA | NA |
| Quantidade de blocos | Alguns | 27 |
| Irregularidade da face | Alta | 27 |
| Presença de água | Húmido | 9 |
| Historial de queda de blocos | Quedas ocasionais | 9 |
| Clima | Baixa precipitação | 3 |
| Total | | 186 |
| *NA - Não Aplicável | | |

Para o cálculo do índice de qualidade das arribas da Praia Grande, obteve-se um índice de aproximadamente 3.1 (Quadro 4.3), podendo afirmar-se que o grau de risco é médio requerendo ações de monitorização e manutenção. As vibrações e o tráfego existente nas proximidades da praia, consequência da proximidade da praia ao centro da vila e à estrada que dá acesso às restantes praias entre Porto Covo e Sines, ocasionou um aumento do índice de qualidade da praia.

| Cálculo do Índice de qualidade do talude | | | | | | | |
|--|----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------|--|--------------------|
| Fator | Peso (W) | Parâmetro | Ponderação dos Parâmetros (Wi') | Dados | Rating (Xi') | Cálculo da cotação atribuída a cada um dos parâmetros (Xi) | Cálculo de W*Σ(Xi) |
| Geológico | 0.20 | Tipo de Litologia | 0.30 | Xisto argiloso/silicioso | 5 | 1.5 | 0.8 |
| | | Grau de Alteração do maciço | 0.20 | W3 - W4-5 | 4 | 0.8 | |
| | | Fraturação | 0.20 | Sim | 4 | 0.8 | |
| | | Sistema RHRSm2 | 0.30 | 186 | 3 | 0.9 | |
| Geométrico | 0.22 | Altura do Talude | 0.45 | 8-10 m | 1 | 0.5 | 0.341 |
| | | Inclinação do Talude | 0.55 | 30-40º | 2 | 1.1 | |
| Ambiental/Tráfego | 0.10 | Precipitação Média Anual | 0.40 | 500-1000mm | 3 | 1.2 | 0.27 |
| | | Velocidade Máxima de Tráfego | 0.10 | 60-70 | 2 | 0.2 | |
| | | Tráfego Médio Diário | 0.10 | <18000 | 1 | 0.1 | |
| | | Zona Sísmica Tipo 1 | 0.20 | 1.3 | 3 | 0.6 | |
| | | Zona Sísmica Tipo 2 | 0.20 | 2.3 | 3 | 0.6 | |
| Inspeções Visuais | 0.14 | Estado de Conservação | 0.60 | Médio | 3 | 1.8 | 0.42 |
| | | Estado de Manutenção | 0.40 | Mau | 3 | 1.2 | |
| Historial | 0.10 | Intervenções | NA | NA | NA | NA | 0.375 |
| | | Queda de Blocos | 0.25 | Sim - Relativamente Ativa | 4 | 1.0 | |
| | | Deslizamento Planar | 0.25 | Sim - Relativamente Ativo | 4 | 1.0 | |
| | | Rotura por Cunha | 0.25 | Sim - Relativamente Ativa | 4 | 1.0 | |
| | | Diretriz Circular | 0.25 | Alguma | 3 | 0.8 | |
| Imediações | 0.12 | Sobrecargas | 0.60 | Sim | 5 | 3.0 | 0.6 |
| | | Vibrações nas Proximidades | 0.40 | Sim | 5 | 2.0 | |
| Revestimento | 0.12 | Existência de Cobertura Vegetal | 1 | Uniforme | 2 | 2.0 | 0.24 |
| | | Proteção Superficial | NA | NA | NA | NA | |
| Índice de Qualidade (I) | | | | | | | 3.046 |
| *NA - Não Aplicável | | | | | | | |

Quadro 4.3 - Aplicação da metodologia de cálculo do índice de qualidade para a Praia Grande

4.2.3 Praia dos Buizinhos

4.2.3.1 Descrição geral e avaliação da problemática

A Praia dos Buizinhos, localizada a sudoeste da vila de Porto Covo, mais precisamente no extremo Sul da frente urbana de mar, encontra-se confinada a Oeste pelo mar a N, E e S por arribas subverticais cuja litologia é predominantemente xistenta pertencente à “Formação de São Luís” que aflora na zona de Porto Covo. A praia é denominada de Praia dos Buizinhos pelo facto de, no seu areal, ser comum a presença de conchas, mais concretamente, búzios (Figura 4.79).



Figura 4.79 - Vista SW da Praia dos Buizinhos durante a preia-mar. Fonte: Playocean - www.playocean.net

As arribas apresentam inclinação geral para NE, e as camadas exibem possanças no geral centimétricas (L4-5), à exceção do afloramento de vulcanitos ácidos localizado na arriba N (*scanline* N3) com uma espessura de aproximadamente 80 cm.

São visíveis várias zonas afetadas pelo fenómeno de subescavação, resultado de uma solicitação da ondulação durante a preia-mar, o que leva a que o areal, de pequenas dimensões, fique praticamente imerso aquando destas circunstâncias. No topo das arribas subsiste um miradouro, verificando-se nestes locais alguns blocos destacados. O acesso à praia é efetuado por uma escadaria localizada a poente (Figura 4.80).



Figura 4.80 - Praia dos Buizinhos vista segundo a arriba N. Fonte: Playocean - www.playocean.net

4.2.3.2 Caracterização geológica-geotécnica das arribas por locais

De modo a realizar uma análise geológica e geotécnica com mais pormenor, efetuou-se uma divisão segundo arribas dentro da mesma praia. O estudo inicia-se por uma breve avaliação da crista da arriba, seguida de um estudo da arriba N, E e S (Tabela.4.42). Para este estudo utilizaram-se dados referentes a cinco scanlines, quatro localizadas na arriba N e uma junto à arriba S como se pode observar na Figura 4.81.



Figura 4.81 - Vista aérea da praia dos Buizinhos e localização aproximada das estações (*scanlines*) (Sá Caetano *et al.*, 2014)

Tabela.4.42 - Dados relativos às arribas e respetivas divisões em locais na Praia dos Buizinhos

| Arriba | Nº <i>Scanlines</i> | <i>Scanline</i> | Litologia |
|----------|---------------------|-----------------|------------------|
| N | 4 | N1; N2; N3; N4 | Xistos argilosos |
| E | 0 | - | Xistos argilosos |
| S | 1 | S1 | Xistos argilosos |

4.2.3.2.1 Avaliação da Crista

A litologia aflorante ao nível da crista é fundamentalmente composta por xistos argilosos, que ocasionalmente detêm uma fácies mais siliciosa. Estes xistos inclinam para NE apresentando um estado de meteorização moderado (W_3).

O estudo da crista pode mesmo ser dividido segundo a envolvente superior à zona de acesso à escadaria da praia, a zona central da crista e o limite Sul da mesma. Ainda nesta zona (perto das escadas de acesso) é possível observar um sulco com, aproximadamente, 1.5m e uma profundidade de cerca de 80cm (Figura 4.82).



Figura 4.82 - Sulco observado perto da zona de acesso às escadas, resultado de escorrência superficial (Outubro de 2014)

Quanto à zona central da crista (Figura 4.83) observa-se um desnível na arriba neste local (para melhor visualização este localiza-se na arriba E da praia) (Figura 4.84).



Figura 4.83 - Desnível na crista na zona central da praia.



Figura 4.84 - Limite Sul da crista com evidências de destacamento de alguns blocos

4.2.3.2.2 Arriba N

O maciço rochoso na arriba Norte (Figura 4.85 e Figura 4.86) apresenta, na sua grande maioria, um grau de meteorização moderado (W_3), apresentando, em zonas próximas da crista, um estado de meteorização mais elevado (W_{4-5}). A estratificação do maciço, constituído por xistos argilosos, inclina para NE sendo que as camadas possuem uma espessura reduzida (L_{4-5}), conforme a classificação da ISRM (1981). O perfil da arriba é considerado rugoso, com inúmeros blocos desagrupados da arriba e isentos de qualquer suporte basal resultado do efeito da fracturação sobre o maciço.



Figura 4.85 - Panorâmica de parte da arriba Norte (até às escadarias de acesso) incluindo a localização das scanlines efetuadas



Figura 4.86 - Panorâmica da restante arriba N, com a *scanline* nº4, abrangendo igualmente a arriba E (com um desnível considerável comparativamente à arriba N e S).

Relativamente às *scanlines* e informação correlativa, os parâmetros geotécnicos, na sua maioria apresentam valores semelhantes e consequentemente classificações análogas. Verificou-se que a exceção residia nos valores de RCU, consequência de ensaios realizados com o martelo de *Schmidt* em locais distintos, assim como os resultados da análise cinemática e alguns apontamentos específicos de cada zona.

Deste modo, as *scanlines* N1 (Figura 4.87) e N2 (Figura 4.88) foram realizadas em zonas da arriba em que o material se encontra moderadamente meteorizado (W_3), as paredes das fraturas apresentam-se medianamente rugosas (R_3). Além disso, as fraturas demonstram ser muito pouco a moderadamente contínuas, fechadas a medianamente largas para N1 (sendo que na maior parte apresentaram valores que rondaram 1 e 2 mm) e abertas a medianamente largas para N2 (com aberturas ligeiramente maiores). Para ambas (N1 e N2) o enchimento das fraturas é de material argiloso.



Figura 4.87 - Registo da *scanline* na estação N1.



Figura 4.88 - Registo da *scanline* na estação N2.

Quanto à RCU, apesar de os ensaios terem sido efetuados perante litologias idênticas, obtiveram-se valores médios ligeiramente diferentes. Para N1 o valor médio para a RCU foi de 28 MPa, já N2 obteve um valor de 54 MPa, porém ambos se enquadram na classe S_3 segundo a classificação da ISRM (1981). As Tabela.4.43 e Tabela 4.44 resumem algumas propriedades das *scanlines* efetuadas.

Tabela.4.43 - Características da scanline N1.

| Scanline N1 | Comprimento (m) | Localização | Azimute (°) | Inclinação (°) | Espessura das bancadas na zona | Espaçamento médio S (cm) | | Litologia |
|----------------|--------------------|---------------------------------|----------------|-------------------|---|-----------------------------|----|-------------------|
| | 2.60 | 8°47'48,109"W 37°50'56,096"N | 50 | 40 | L4-5 | 20.8 | F3 | Xisto argiloso |

Tabela 4.44 - Características da scanline N2.

| Scanline N2 | Comprimento (m) | Localização | Azimute (°) | Inclinação (°) | Espessura das bancadas na zona | Espaçamento médio S (cm) | | Litologia |
|----------------|--------------------|---|----------------|-------------------|---|-----------------------------|----|-------------------|
| | 2.20 | 8°47'47,853" W 37°50'56,317" N | 28 | 0 | L4-5 | 47.5 | F3 | Xisto argiloso |

A N3 (Figura 4.89), realizada segundo uma direção perpendicular à direção de N1 e N2, e N4 foram realizadas em zonas onde o material, na base, se apresenta moderadamente meteorizado (W_3) exibindo alguma descoloração e friabilidade ao toque, apesar de mais meteorizado para o topo (W_{4-5}).

Nestas zonas da arriba N, afloram os xistos argilosos, já referidos anteriormente, no entanto junto à N3 aflora também um filão subvertical de vulcanitos ácidos (manifestamente afetado pelos agentes erosivos) (Figura 4.90).

**Figura 4.89 - Registro da estação N3****Figura 4.90 - Pormenor do filão de vulcanitos ácidos.**

Ao nível das características das discontinuidades, em ambas as paredes das mesmas podem ser descritas como medianamente rugosas (R_3) a muito rugosas (R_{4-5}), sendo que esta última se deve às laminações da xistosidade. Em relação à sua persistência, encontram-se muito pouco a moderadamente contínuas, e fechadas a medianamente largas no que diz respeito à sua abertura respeitante N3 e apresentando-se fechadas a muito largas para N4 (Figura 4.91). Tal como nas anteriores, o enchimento das fraturas (podendo estas nem sempre possuir qualquer enchimento) é de material argiloso proveniente da meteorização dos xistos.

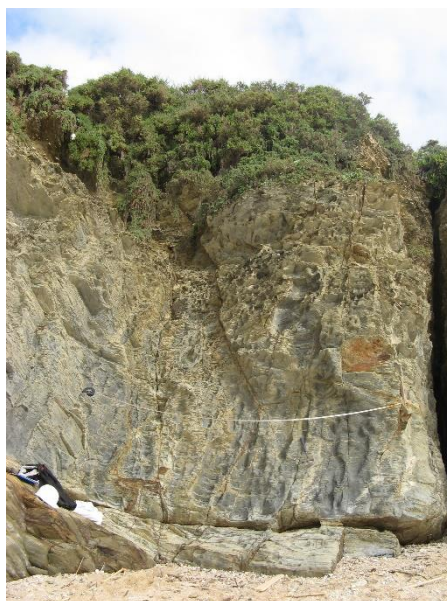


Figura 4.91- Registo da *scanline* na estação N4.

Em N4, assim como nas medições prévias efetuadas nesta arriba, os ensaios com martelo de *Schmidt* incidiram sobre a litologia xisto argilosa presente, tendo-se obtido uma RCU média de 31 MPa semelhante aos resultados anteriores. Já em N3, estes mesmos ensaios recaíram sobre os vulcanitos, de modo a estimar a sua resistência, pelo facto de os xistos argilosos já terem sido avaliados nas medições anteriores (Tabela.4.45 e Tabela 4.46). Obteve-se deste modo uma RCU média de 25 MPa resultante destes ensaios.

Tabela.4.45 - Características da *scanline* N3.

| <i>Scanline</i> N3 | Comprimento (m) | Localização | Azimute (°) | Inclinação (°) | Espessura das bancadas na zona | Espaçamento médio S (cm) | | Litologia |
|-----------------------|--------------------|---|----------------|-------------------|---|-----------------------------|----------------|--|
| | 3.60 | 8°47'47,641" W 37°50'56,35 4"N | 325 | 0 | L ₄₋₅ a L ₂ * | 45 | F ₃ | Xisto argiloso/ vulcanitos ácidos |

Tabela 4.46 - Características da *scanline* N4.

| <i>Scanline</i> N4 | Comprimento (m) | Localização | Azimute (°) | Inclinação (°) | Espessura das bancadas na zona | Espaçamento médio S (cm) | | Litologia |
|-----------------------|--------------------|---------------------------------|----------------|-------------------|---|-----------------------------|----------------|-------------------|
| | 3.70 | 8°47'46,971"W 37°50'56,492"N | 300 | 0 | L ₄₋₅ | 33 | F ₃ | Xisto argiloso |

4.2.3.2.2.1 BGD

A diferença essencial entre as duas zonas mencionadas posteriormente, e individualizadas nas Figura 4.92 e Figura 4.93, reside essencialmente no seu estado de meteorização e, consequentemente, no valor da RCU podendo, tal como na Praia das Furnas, ser considerada uma só zona que detém algumas particularidades no seu todo.



Figura 4.92- Individualização das zonas definidas por aplicação da BGD, na arriba N



Figura 4.93 - Individualização das zonas definidas por aplicação da BGD, na arriba N compreendendo a arriba E

A classificação segundo a BGD definida para a arriba Norte e Este, na Praia dos Buizinhos, encontra-se descrita na Tabela 4.47, assim como o resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados (Tabela.4.48).

Tabela 4.47 - Classificação segundo a BGD para a arriba Norte

| Zonas | Caracterização Geológica-Geotécnica simplificada (ISRM, 1981) | Descrição Geológica |
|-------|--|---|
| I | <u>Xisto argiloso</u> L ₄₋₅ ; F ₃ ; S ₃ ; A ₄ | <p>I₁ (W₃)</p> <p>Xistos argilosos cinzentos com uma tonalidade levemente mais escura na base, por vezes com pequenas indicações avermelhadas (local mais fustigado pela ação marinha). O material encontra-se moderadamente meteorizado. As fraturas apresentam-se muito pouco a moderadamente contínuas, fechadas a muito largas. O seu enchimento é argiloso. A espessura das camadas é reduzida entre 6 e 20 cm (L₄₋₅), relativamente às fraturas presentes, estas encontram-se moderadamente afastadas sendo que o espaçamento médio é de cerca de 35 cm (média entre N1 e N2). Quanto à RCU o valor médio é da ordem dos 41 MPa.</p> |
| | | <p>I₂ (W₄₋₅)</p> <p>Xistos argilosos nos quais são visíveis efeitos do testemunho da ação da água, bem como de outros agentes erosivos tais como o vento e alterações de temperatura, facto que poderá ter proporcionado uma certa descoloração e friabilidade nesta zona que a diferencia das restantes zonas da praia, apesar de o material junto à base poder ser considerado como moderadamente meteorizado. As fraturas encontram-se muito pouco a moderadamente contínuas, fechadas a medianamente largas, no entanto muito largas à medida que se aproxima da arriba E. A espessura das camadas, na sua generalidade é reduzida, sendo a espessura do filão é elevada (cerca de 80 cm). O espaçamento das fraturas é de cerca de 40 cm, e o valor médio da RCU é de 28 MPa.</p> |

Tabela.4.48 - Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD

| Resultados | | Zonas | I | | |
|------------|---------------------------------|----------------|---|-------------|------------------|
| | | | Método de recolha dos dados | Valor Médio | BGD |
| Parâmetros | Espessura das camadas (cm) | I ₁ | Scanline N1 e 24N2 | 6-20 | L ₄₋₅ |
| | | I ₂ | Scanline N3 e N4 | | |
| | Espaçamento entre fraturas (cm) | I ₁ | Scanline N1 e N2 | 34 | F ₃ |
| | | I ₂ | Scanline N3 e N4 | 39 | |
| | RCU (MPa) | I ₁ | Ensaio realizado nas scanlines N1 e N2, ou juntos às mesmas | 41 | S ₃ |
| | | I ₂ | Ensaio realizado na scanline N3 para estimar a resistência dos vulcanitos | 25 | |
| | | | Ensaio realizado na scanline N4 | 31 | |
| | ϕ - Ângulo de atrito (°) | I ₁ | Estimado tendo em conta a litologia ¹⁾ | 15 | A ₄ |
| | | I ₂ | | | |
| | Grau de meteorização | I ₁ | Observação visual | - | W ₃ |
| | | I ₂ | | - | W ₄₋₅ |

- 1) Este valor foi considerado pelo facto de ambos os locais serem maioritariamente constituídos por xistos argilosos, podendo no entanto ser ponderado um ângulo de atrito (ϕ) de 22,5 (média de valores atribuídos para xistos e grauvaques) devido à presença de grauvaques.

4.2.3.2.2.2 GSI

A arriba Norte, caracterizada por xistos argilosos, está como referido anteriormente, dividida em duas zonas, ambas vigorosamente afetadas pela fracturação e verificando-se inclusive que as camadas se encontram visivelmente dobradas. Existe uma determinada parte da arriba, tendo mesmo sido definida como uma zona, em que as fraturas presentes são ligeiramente mais afastadas, o que pode ter originado um estado de meteorização mais elevado. O maciço rochoso no seu todo quanto ao nível da sua composição e estrutura, assim como das condições das descontinuidades existentes, pode ser considerada como da classe F (Tabela 4.49 e Figura 4.94).

De forma a não perder objetividade na determinação do índice (GSI), recorreu-se a uma estimacão do mesmo, segundo um intervalo de valores e não apenas um valor único (in Brissos, 2013).

Tabela 4.49 - Avaliação do índice GSI para a arriba Norte

| <i>Local</i> | Composição e Estrutura | Condições das descontinuidades | GSI |
|-----------------|---|---|------------|
| <i>Arriba N</i> | Bancadas de xisto argiloso intensamente fraturadas. Com 2 famílias principais de descontinuidades | Paredes moderadamente rugosas e meteorizadas, consideradas descoloradas a desintegradas | 25±5 |
| | Classe F | Fraca a média qualidade | |

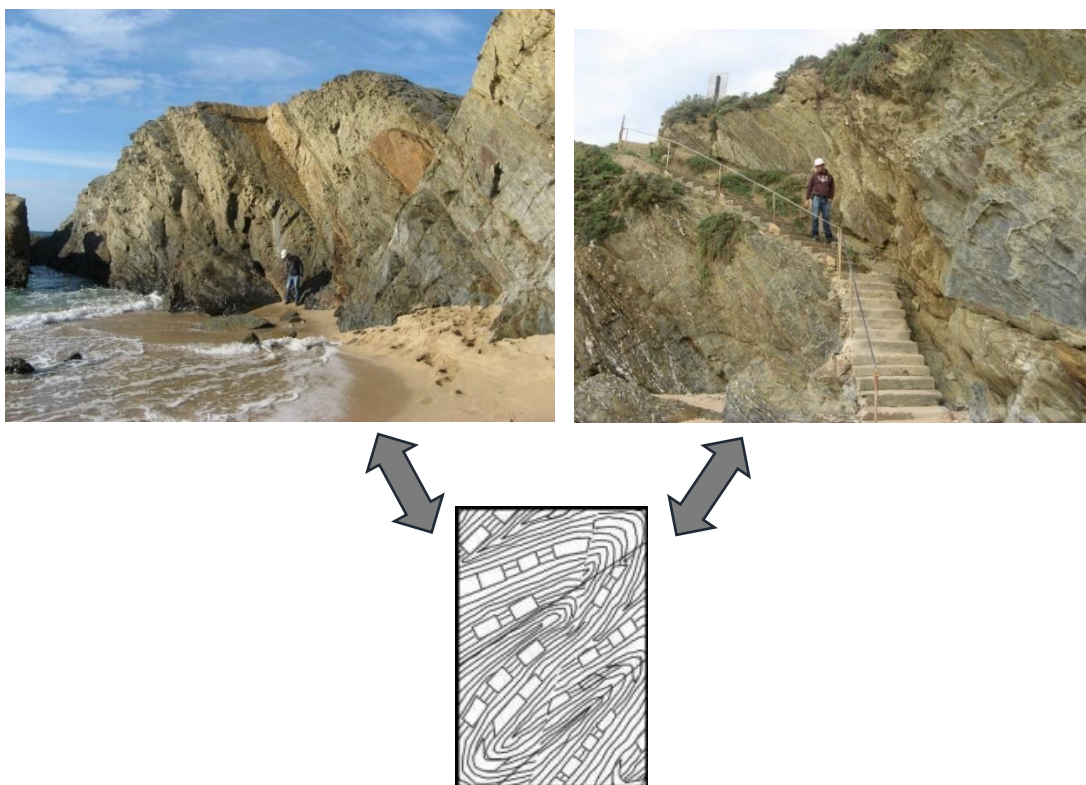


Figura 4.94- Comparação entre o maciço rochoso da arriba N com a estrutura referente à classe F, definida por Marinos & Hoek, (2001)

4.2.3.2.3 Arriba E

A arriba Este não foi alvo de uma inventariação de dados de pormenor, no entanto através de observações visuais de campo é notória uma semelhança litológica com os afloramentos que rodeiam a escadaria de acesso à praia, tendo, deste modo, sido incluída como parte da subzona I₂, apresentando uma certa descoloração. Esta arriba, como mencionado aquando da avaliação da crista, é coincidente com um desnível para o interior no sentido terra (Figura 4.95 e Figura 4.96).



Figura 4.95 - Desnível na arriba E (visto segundo Sul)



Figura 4.96 – Pormenor da arriba Este

4.2.3.2.4 Arriba S

A arriba Sul (Figura 4.97) é caracterizada por uma litologia xisto argilosa tal como a arriba N e E, apresentando um estado de meteorização moderado (W_3).



Figura 4.97 - Panorâmica da arriba Sul.

É possível observar a existência de alguns blocos isolados resultado da fracturação presente, que se podem considerar instáveis, também pelo facto de não possuírem qualquer sustentação na base da arriba. A fracturação, conjuntamente com esta falta de sustentação basal, levaram mesmo ao desprendimento de diversos blocos, como se pode observar na Figura 4.98.



Figura 4.98 - Blocos instabilizados na base da Arriba Sul (Outubro de 2014 à esquerda, e Agosto de 2015 à direita)

A localização de pormenor da *scanline* na arriba Sul encontra-se na Figura 4.99, sendo que as suas propriedades estão descritas na Tabela 4.50.



Figura 4.99 - Registo da *scanline* na estação S1

Tabela 4.50 - Características da *scanline* S1.

| Scanline S1 | Comprimento (m) | Localização | Azimute (°) | Inclinação (°) | Espessura das bancadas nesta zona | Espaçamento médio S (cm) | | Litologia |
|------------------------|--------------------|---------------------------------|-------------|----------------|--|-----------------------------|----------------|-------------------|
| | 2.25 | 8°47'46,084"W 37°50'55,549"N | 58 | 0 | L ₄₋₅ | 38.75 | F ₃ | Xisto argiloso |

Como mencionado anteriormente, os xistos argilosos apresentam-se moderadamente meteorizados, mais precisamente na base da arriba. Verifica-se uma certa descoloração para o topo, e friabilidade ao toque. A rugosidade ao nível das paredes das discontinuidades pode ser avaliada como medianamente rugosa (R₃). A espessura das camadas presentes é reduzida (L₄₋₅). Quanto à abertura das fraturas, estas apresentam-se fechadas a abertas, muito pouco a pouco contínuas relativamente à sua persistência.

A partir dos ensaios realizados com o martelo de *Schmidt*, tendo como objetivo estimar a correspondente RCU, obteve-se um valor de 28 MPa para os xistos argilosos que constituem esta arriba.

4.2.3.2.4.1 BGD

Quanto à sua litologia, tanto a arriba Sul (Figura 4.100) como a arriba Norte são caracterizadas por xistos argilosos.



Figura 4.100- Panorâmica da Arriba Sul para efeitos de classificação conforme a BGD

Relativamente às características estruturais do maciço assim como à espessura das camadas e das fraturas a arriba Sul, enquadra-se nos mesmos critérios geotécnicos definidos para a arriba Norte. Apesar do referido enquadramento conforme a mesma classificação segundo ISRM (1981), as observações e dados recolhidos revelaram que os valores da persistência das fraturas (muito pouco a pouco contínuas para a arriba S, e muito pouco a moderadamente contínuas para a arriba Norte), e da RCU diferir ligeiramente da arriba Norte (41 MPa) para a Sul (28 MPa), não afeta no cômputo geral a atribuição do mesmo zonamento geotécnico para ambas as arribas (Tabela 4.51 e Tabela.4.52)

Tabela 4.51 - Classificação segundo a BGD para a arriba Sul

| Zonas | Caracterização Geológica-Geotécnica simplificada (ISRM, 1981) | Descrição Geológica |
|-------|--|--|
| I | <u>Xisto argiloso</u> L ₄₋₅ ; F ₃ ; S ₃ ; A ₄ | I₁ (W ₃) Xistos argilosos cinzentos com uma tonalidade levemente mais escura na base, por vezes com pequenas indicações avermelhadas (local mais fustigado pela ação marinha). O material encontra-se moderadamente meteorizado. As fraturas apresentam-se muito pouco a pouco contínuas, fechadas a muito largas. E o seu enchimento é argiloso. A espessura das camadas é reduzida entre 6 e 20 cm (L ₄₋₅), relativamente às fraturas presentes estas encontram-se moderadamente afastadas sendo que o espaçamento médio é de cerca de 38.75 cm (scanline S1). Quanto à RCU o valor médio é da ordem dos 28 MPa. |

Tabela.4.52 - Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD.

| Resultados | | I (I ₁) | | |
|------------|---------------------------------|---|-------------|------------------|
| | | Método de recolha dos dados | Valor Médio | BGD |
| Parâmetros | Espessura das camadas (cm) | Scanline S1 | 6-20 | L ₄₋₅ |
| | Espaçamento entre fraturas (cm) | Scanline S1 | 38.75 | F ₃ |
| | RCU (MPa) | Scanline S1 | 28 | S ₃ |
| | ϕ - Ângulo de atrito (°) | Estimado tendo em conta a litologia ¹⁾ | 15 | A ₄ |
| | Grau de meteorização | Observação visual | - | W ₃ |

- 1) Este valor foi considerado pelo facto de ambos os locais serem maioritariamente constituídos por xistos argilosos, podendo no entanto ser ponderado um ângulo de atrito (ϕ) de 22,5 (média de valores atribuídos para xistos e grauvaques) devido à presença de grauvaques.

4.2.3.2.4.2 GSI Arriba S

A arriba Sul, como as restantes, foi submetida a uma observação superficial das características do maciço rochoso (destacando a rugosidade e o estado de meteorização), de modo a estimar o índice GSI para este mesmo local.

A litologia é predominantemente xisto argilosa apresentando uma intensa fracturação (Figura 4.101) que, por vezes, origina desagregação de pequenos blocos da restante estrutura resultado da disposição geral do maciço nesta zona.

De forma a não perder objetividade na determinação do índice (GSI), recorreu-se a uma estimação do mesmo segundo um intervalo de valores e não apenas um valor único (Brissos, 2013).

As resoluções acima expostas incitam ao enquadramento deste local na classe F, classe esta que exhibe descontinuidades de fraca a média qualidade (Tabela 4.53).

Tabela 4.53 - Avaliação do índice GSI para a arriba Sul

| Local | Composição e Estrutura | Condições das descontinuidades | GSI |
|----------|--|--|------|
| Arriba S | Bancadas de xisto argiloso intensamente fraturadas. Com 1 família principal de descontinuidades. | Paredes moderadamente rugosas e meteorizadas, consideradas descoloradas. | 25±5 |
| | Classe F | Fraca a média qualidade | |

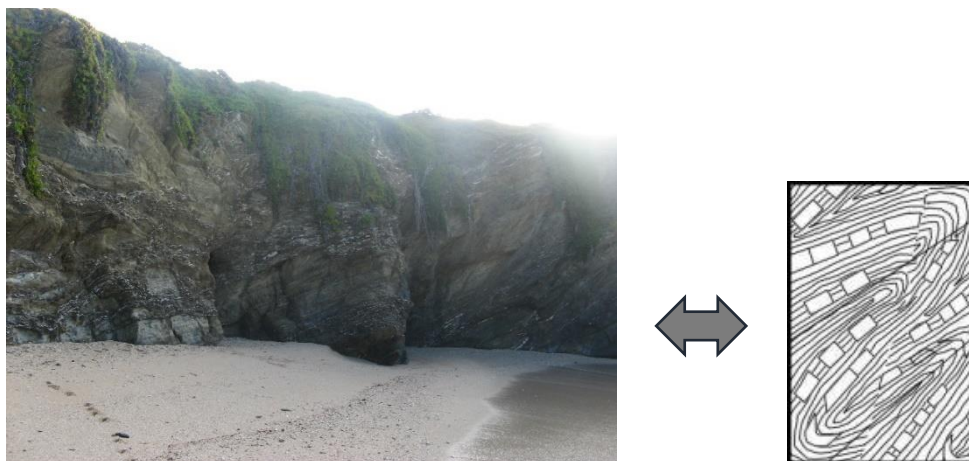


Figura 4.101 - Comparação entre o maciço rochoso na arriba S com a estrutura referente à classe F, definida por Marinós & Hoek, (2001).

4.2.3.3 Zonamento Geomecânico

Para o zonamento geomecânico da frente das arribas estudadas na praia dos Buizinhos, definiu-se uma zona geomecânica, dividida segundo duas subzonas. Esta diferenciação baseou-se no valor de RCU, que se traduz num estado de meteorização mais elevado para a subzona definida como I_2 , e numa heterogeneidade quanto a determinados tipos de movimentos de rotura entre as subzonas definidas.

Com o intuito de avaliar possíveis instabilizações dos locais em estudo quanto à viabilidade de escorregamentos planares, deslizamentos em cunha e tombamentos constatou-se que, para a arriba Norte, no sentido mar-terra, existe a possibilidade de ocorrência de escorregamento planar, assim como de cunhas deslizantes que podem vir a ser resultantes do alargamento de fendas pré-existentes que provocam o destaque de cunhas ou painéis de rocha. A viabilidade de rotura por corte de blocos sem sustentação na sua base é um evento exequível tendo em consideração a atuação de uma família de fraturas sub-verticais (Figura 4.102).



Figura 4.102 - Bloco sem sustentação basal destacado por fraturas subverticais subparalelas e perpendiculares à arriba

A possibilidade de rotura por tombamento é considerada viável nas arribas correspondentes à subzona definida como I_2 (parte da arriba N e arriba E) devido à orientação das superfícies de estratificação para o interior do maciço, ambiente propício para causar tombamento aquando da inexistência de suporte basal. Em relação às restantes características a serem analisadas para

a classificação segundo a BGD, ambas as subzonas apresentam valores aproximados, logo pertencem aos mesmos intervalos classificativos não existindo a necessidade de separação segundo duas zonas distintas, mas sim subzonas com disparidade segundo determinados parâmetros.

Com o objetivo de efetuar uma apreciação estatística no que concerne os movimentos de rotura, conclui-se que o IRC apresenta uma maior probabilidade de ocorrência ao longo da praia comparativamente aos restantes mecanismos. O IRT revela-se mais significativo na arriba E, e com menor representatividade na arriba S. Quanto ao IRP não se encontra em destaque em nenhum dos trechos de arriba.

Pretendendo-se obter uma análise mais verosímil da realidade, e tendo conhecimento de que a litologia da praia é consistentemente xisto argilosa resultando em descontinuidades com enchimento de minerais argilosos e consequentemente um ângulo de atrito baixo (15°), tratando-se de uma praia com reduzida dimensão, implica arribas imbricadas e sub-verticais, o IRC apresenta valores aproximadamente constantes em qualquer uma das direções azimutais (0.4). Por outro lado, o IRT e o IRP apresentam valores de índice de rotura próximos de 0.4 não atingindo, porém, este valor (para intervalos entre 0 e 40° e 200 e 240°).

Na arriba Norte, caracterizada por xistos argilosos com espessura reduzida, a meteorização dos xistos leva à criação de material argiloso que se encaixa nas aberturas das fraturas. Enquanto material fino e coesivo, a composição mineralógica da argila favorece o desenvolvimento de reações químicas com a água e com os sais nela dissolvidos. A acumulação de água pode originar um aumento do volume total (expansão das argilas) e consequentemente uma diminuição na compactação da argila, originando suspensão de partículas. A presença de material argiloso no interior das fraturas pode dificultar o fluxo de água através das mesmas não permitindo que esta se infiltre. Por outro lado, o seu estado plástico quando entra em contacto com a água, e a consequente possibilidade de expansão, pode criar tensões nas fraturas já existentes criando instabilidade no maciço.

Relativamente à descrição geológica e geotécnica do maciço rochoso correspondente à arriba Sul, esta pode ser considerada semelhante à arriba Norte em ambos os critérios.

Dentro da subzona I₂, a parte correspondente à arriba Este apresenta-se como um local frágil, nomeadamente na junção com a arriba Norte, em que se podem observar alguns blocos caídos que expuseram outros ao longo de uma faixa proveniente da zona da crista, criando uma potencial zona de risco. Os veraneantes encontram, neste desnível presente na arriba, um abrigo e proteção perante as condições climáticas, a subida do nível do mar e inclusive resultado de uma procura de privacidade. A vegetação presente no litoral apresenta características particulares, criando uma barreira natural contra eventuais quedas de blocos que se venham a destacar da zona da crista. A Praia dos Buizinhos possui, ao longo de parte da arriba Norte e nas arribas Este e Sul, algum coberto vegetal, sendo que este torna-se mais evidente para a arriba Este. No entanto, a cobertura neste local encontra-se seca, podendo mesmo estar na origem de um apodrecimento das raízes que poderá proporcionar uma maior permeabilidade e consequentemente favorecer a infiltração no maciço rochoso.

O caminho de acesso à praia, entre o topo da arriba Norte e o areal, pode ser considerado como um local de fraqueza estrutural do maciço (Figura 4.103).

No seguimento do referido anteriormente relativamente ao grau de meteorização ser reconhecido como moderado, este pode no entanto diferir em certas zonas, nomeadamente na envolvente à escadaria de acesso à praia (estado de meteorização mais desenvolvido, ostentando uma elevada friabilidade), facto este que viabiliza o destaque e queda de blocos xistosos de pequenas dimensões. Estas observações são suportadas pelos detritos dispersos ao longo da escadaria, sendo que nas observações mais recentes (Agosto de 2015) este local se revelou consideravelmente pior, em que a área afetada pelos detritos se revela significativamente maior. Esta é a única entrada exequível para os frequentadores da praia dos Buizinhos dada a altura das arribas que a rodeiam.



Figura 4.103 - Zona de comunicação entre o areal e o topo da arriba

Ainda na arriba Norte, no seu topo, perto da escadaria de acesso no sentido mar, verifica-se um aprofundamento tendencial do sulco nas últimas observações de 2015. Este encontra-se associado a uma linha de água, que provoca um fenómeno de erosão relacionado com escorrência superficial. Apesar da considerável cobertura vegetal existente, nas estações mais secas, como é possível observar na figura referente a Agosto de 2015, a secagem dos solos por absorção radicular leva a que o seu efeito fortificador seja praticamente inexistente, favorecendo a extensão da fissura (Figura 4.104).

A manifestação de uma meteorização mais evidente no topo da arriba Norte, naturalmente próximo da crista, pode, em parte, estar relacionada com o sulco referido.



Figura 4.104- Sulco/Fissura observado perto da zona de acesso às escadas, resultado de escorrência superficial (Agosto de 2015 em baixo) comparação com o mesmo sulco observado em Outubro de 2014 (em cima)

Na zona da crista, limite sul, alguns blocos encontram-se ligeiramente destacados por pequenas fendas de tração, não criando um perigo de maior pelo facto de os blocos em causa não se encontrarem desconectados do maciço rochoso, o que lhes confere uma certa estabilidade.

4.2.3.4 Reavaliação do risco preliminar

A Praia dos Buizinhos, numa primeira avaliação do risco, apresentou um risco muito elevado (IR=0.80), que permaneceu elevado numa segunda avaliação (Tabela 4.54 e Tabela 4.55).

Tabela 4.54 - Reavaliação do risco para as arribas da Praia dos Buizinhos

| Praia dos Buizinhos | PO | M | D | C | Perigosidade Aparente | Vulnerabilidade | Tipologia de praia | IR |
|-------------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------|
| Avaliação preliminar de risco | 5 | 4 | 5 | 1 | 20 | 5 | - | 0.80 |
| Reavaliação do risco | 5 | 4 | 5 | 1 | 20 | 5 | - | 0.80 |

Tabela 4.55 - Escala para a definição de IR

| <i>Índice de Risco (IR)</i> | | |
|-----------------------------|------------------|--|
| <i>Muito Elevado</i> | ≥ 0.8 a 1 | |
| <i>Elevado</i> | ≥ 0.6 a 0.8 | |
| <i>Moderado</i> | ≥ 0.4 a 0.6 | |
| <i>Reduzido</i> | ≥ 0.2 a 0.4 | |
| <i>Não significativo</i> | < 0.2 | |

A praia em estudo, por se situar relativamente perto da zona urbana de Porto Covo e ser marcada pela existência de um miradouro no topo da arriba N, pode ser avaliada como apresentando uma conjuntura adversa, tornando-a, deste modo, mais vulnerável.

Considerada uma praia urbana encaixada entre arribas e com um areal de dimensões reduzidas, acessível e que detém condições ideais que permitem uma maior afluência por parte dos utentes, assumem-se como factos que se revelam de grande influência quanto à possibilidade de dano associado à praia. É importante realçar as dimensões da praia, sendo que o efeito prejudicial de qualquer instabilidade torna-se substancialmente maior devido ao areal diminuto, particularmente durante a maré cheia.

As situações de instabilidade ao longo da praia tendem a ser expressas segundo um dano potencial maior, consequência da ocupação humana.

A possibilidade de ocorrência de queda de blocos, resultado de uma fraturação e meteorização do maciço xistento, de reduzida a média dimensão e sem sustentação basal, motiva um aumento da preocupação quanto à perigosidade inerente a estes possíveis eventos. Os detritos na base das arribas confirmam igualmente o valor elevado atribuído a este parâmetro, particularmente um grande bloco de rocha que se encontra sustentado na arriba Norte junto ao mar. Não obstante a perigosidade evidente de possíveis quedas de blocos com um volume semelhante ao mencionado, no caso específico deste bloco, o facto de este se encontrar junto ao mar representa uma zona de difícil acesso no decurso da preia-mar (Figura 4.105).

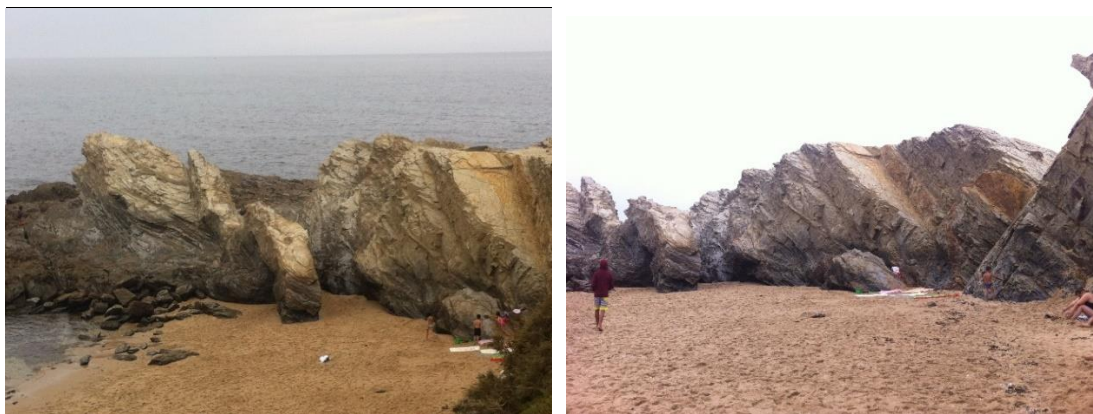


Figura 4.105 - Bloco apoiado perto da arriba Norte na praia dos Buizinhos

Ao longo da época balnear é evidente a persistência dos utentes em ocupar locais próximos da base das arribas. Este facto pode ser justificado pelo diminuto areal de que a praia dispõe, por vezes mais reduzido aquando do avanço da ondulação durante a preia-mar.

A ocupação humana de que a Praia dos Buizinhos é alvo, mais concretamente durante a época de veraneio, fundamenta o facto de que para as situações de instabilidade verificadas, deverem ser tomadas como significativas por resultarem num maior dano potencial.

4.2.3.5 Avaliação qualitativa e quantitativa do índice de qualidade dos taludes

A pontuação obtida para o sistema RHRSm2, de 318 (Tabela 4.56), coincide com um *rating* de 3 (Tabela 4.1) para o cálculo do índice de qualidade

Tabela 4.56 - Aplicação do sistema RHRSm2 para a Praia dos Buizinhos

| Sistema RHRSm2 | | |
|------------------------------|--|------------|
| Categoria | Dados | Pontuação |
| Altura do talude | 15-20 m | 9 |
| Inclinação | 30-40° | 9 |
| Zona de Influência | Muito Perto | 81 |
| Condição Estrutural | Descontinuidades muito contínuas com orientação desfavorável | 81 |
| Alteração do Maciço | W3 - W4 | 27 |
| Erosão | Elevada | 27 |
| Tamanho dos blocos | 0.6 | 9 |
| Volume de blocos por evento | NA | NA |
| Quantidade de blocos | Alguns | 27 |
| Irregularidade da face | Alta | 27 |
| Presença de água | Húmido | 9 |
| Historial de queda de blocos | Quedas ocasionais | 9 |
| Clima | Baixa precipitação | 3 |
| Total | | 318 |
| *NA - Não Aplicável | | |

Através da aplicação da metodologia para o cálculo do índice de qualidade das arribas obteve-se um índice de aproximadamente 3.1 (Quadro 4.4) podendo afirmar-se que o grau de risco é médio com tendência para evoluir para um estado de qualidade do talude considerado 'mau' requerendo ações de monitorização e manutenção.

| Cálculo do Índice de qualidade do talude | | | | | | | |
|--|----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------|--|--------------------|
| Fator | Peso (W) | Parâmetro | Ponderação dos Parâmetros (Wi') | Dados | Rating (Xi') | Cálculo da cotação atribuída a cada um dos parâmetros (Xi) | Cálculo de W*Σ(Xi) |
| Geológico | 0.20 | Tipo de Litologia | 0.30 | Xisto-Argilosa | 5 | 1.5 | 0.76 |
| | | Grau de Alteração do maciço | 0.20 | W3 - W4 | 3 | 0.6 | |
| | | Fraturação | 0.20 | Sim | 4 | 0.8 | |
| | | Sistema RHRSm2 | 0.30 | 318 | 3 | 0.9 | |
| Geométrico | 0.22 | Altura do Talude | 0.45 | 15-20m | 2 | 0.9 | 0.44 |
| | | Inclinação do Talude | 0.55 | 30-40° | 2 | 1.1 | |
| Ambiental/Tráfego | 0.10 | Precipitação Média Anual | 0.40 | 500-1000mm | 3 | 1.2 | 0.26 |
| | | Velocidade Máxima de Tráfego | 0.10 | 50-60 | 1 | 0.1 | |
| | | Tráfego Médio Diário | 0.10 | <18000 | 1 | 0.1 | |
| | | Zona Sísmica Tipo 1 | 0.20 | 1.3 | 3 | 0.6 | |
| | | Zona Sísmica Tipo 2 | 0.20 | 2.3 | 3 | 0.6 | |
| inspeções Visuais | 0.14 | Estado de Conservação | 0.60 | Médio | 3 | 1.8 | 0.42 |
| | | Estado de Manutenção | 0.40 | Mau | 3 | 1.2 | |
| Historial | 0.10 | Intervenções | NA | NA | NA | NA | 0.325 |
| | | Queda de Blocos | 0.25 | Sim - Relativamente Ativa | 4 | 1.0 | |
| | | Deslizamento Planar | 0.25 | Sim - Alguma | 3 | 0.8 | |
| | | Rotura por Cunha | 0.25 | Sim - Relativamente Ativa | 4 | 1.0 | |
| | | Diretriz Circular | 0.25 | Inativa | 2 | 0.5 | |
| Imediações | 0.12 | Sobrecargas | 0.60 | Sim | 5 | 3.0 | 0.408 |
| | | Vibrações nas Proximidades | 0.40 | Não | 1 | 0.4 | |
| Revestimento | 0.12 | Existência de Cobertura Vegetal | 1 | Pontual | 4 | 4.0 | 0.48 |
| | | Proteção Superficial | NA | NA | NA | NA | |
| Índice de Qualidade (I) | | | | | | | 3.093 |
| *NA - Não Aplicável | | | | | | | |

Quadro 4.4 - Aplicação da metodologia de cálculo do índice de qualidade para a Praia dos Buizininhos

4.2.4 Praia das Furnas

4.2.4.1 Descrição geral e avaliação da problemática

A Praia das Furnas (Figura 4.106) encontra-se localizada na margem Sul da foz do rio Mira, que se desenvolve na unidade geomorfológica Planície Litoral Ocidental, cujo relevo se apresenta mais acentuado na zona costeira, verificando-se nesta zona declives muito acentuados (superiores a 25%).

O troço costeiro correspondente à Praia das Furnas é dominado por arribas talhadas nas formações xisto-grauvacóides do Paleozoico denominado como “Formação de Mira”. Esta Praia define-se por um extenso maciço dunar, limitado interiormente por uma arriba fóssil, suportada por rochas paleozoicas (Nemus,2015) (Figura 4.107). As arribas localizadas a SE detêm um perfil rugoso, resultado de uma heterogeneidade litológica e intensa tectonização.

O material rocha encontra-se bastante meteorizado e fraturado, existindo solicitação parcial das arribas pelo mar na zona SW da praia durante a preia-mar. É possível observar, um pouco por toda a praia, inúmeras zonas de fraqueza estrutural, resultado de diversos dobramentos e da ação do mar, originando áreas afetadas por subescavação basal. Por outro lado, não se observam zonas em consola com balanço significativo devido à reduzida possança dos níveis de grauvaque.



Figura 4.106 - Perspetiva da Praia das Furnas, Agosto de 2015.



Figura 4.107 - Linha de costa a Sul do estuário do rio Mira. Arriba fóssil da Praia das Furnas, precedida do sistema praia-duna (Nemus, 2015).

4.2.4.2 Caracterização geológica-geotécnica das arribas por locais

Para o estudo geológico e geotécnico é possível efetuar, à partida, uma divisão primária em locais, tendo sido realizados, nestes mesmos locais, *scanlines* através das quais se retiraram dados importantes para o estudo das arribas e posterior zonamento geomecânico. Deste modo, para o seu estudo, a praia pode ser dividida segundo a identificação de local 1 (arriba NE), de local 2 (arriba W) e de local 3 (arriba SW) para uma melhor e mais rápida compreensão do seu todo (Figura 4.108).



Figura 4.108- Divisão geral da Praia das Furnas em locais (Sá Caetano *et al.*, 2014)

A altura das arribas aumenta, geralmente, de N para S (8-9 m na zona do parque de estacionamento e 12-14 m na zona da *scanline* S3) (Tabela 4.57).

Tabela 4.57 Dados relativos às arribas e respetivas divisões em locais na Praia das Furnas.

| Local | Arriba | Scanline | Litologia | Altura Arriba (m) |
|-------|---------|----------|-----------------------------|-------------------|
| 1 | NE | S1 | Xistos argilosos/Grauvaques | 8-9 |
| 2 | Central | S2 | Xistos argilosos/Grauvaques | 10-11 |
| 3 | SW | S3 | Xistos argilosos | 12-14 |

4.2.4.2.1 Local 1 – Arriba NE

O local definido como local 1, corresponde à arriba NE que contorna o parque de estacionamento. Na Figura 4.109 é possível observar a localização da *scanline* (Figura 4.110). Quanto às propriedades da *scanline* estão apresentadas na Tabela 4.58.



Figura 4.109- Panorâmica da arriba junto ao parque de estacionamento com a localização da estação S1.

Tabela 4.58 - Características da scanline S1.

| Scanline S1 | Comprimento (m) | Localização | Azimute (°) | Inclinação (°) | Espessura das bancadas na zona | Espaçamento médio fraturas S (cm) | | Litologia |
|----------------|--------------------|---|----------------|-------------------|---|--|----------------|------------------------------------|
| | 3.0 | 8°47'10,085" W 37°42'47,506 "N | 76 | 10 | L ₄₋₅ | 25 | F ₃ | Xistos argilosos /Grauvaques |



Figura 4.110 - Localização mais pormenorizada da scanline S1.

Nesta arriba, que limita a Praia das Furnas a nordeste, o maciço rochoso apresenta-se muito meteorizado (W_{4-5}) e bastante tectonizado, sendo evidentes diversos dobramentos (Figura 4.111).

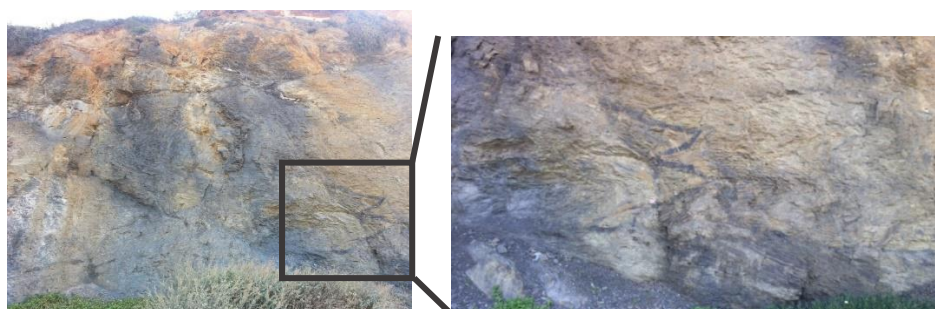


Figura 4.111- Vista de pormenor dos dobramentos en chévron localizados na arriba em estudo (NE).

Ao nível dos planos de estratificação, estes apresentam uma inclinação geral para SW. De referir que a espessura das camadas é centimétrica, exibindo possanças maiores para as bancadas de grauvaque (Figura 4.112).



Figura 4.112 - Variação da espessura das camadas na arriba e cobertura de material instabilizado na base da arriba.

Observa-se, assim, na base da arriba uma cobertura de material, que resulta de uma desagregação mecânica do material rochoso em virtude das águas procedentes da zona da crista (escorrência de superfície) assim como de possíveis exurgências (aparecimento ao ar livre de águas subterrâneas).

Quanto à rugosidade ao nível das paredes das fraturas, esta apresenta-se variável (R_3 a R_{4-5}), sendo que a rugosidade elevada (R_{4-5}) está relacionada com a existência de laminações xistosas que intercalam com grauvaques. As fraturas apresentam uma extensão menor que 100 cm, logo muito pouco contínuas, e ainda entre 100 a 300 cm, sendo que, para estes últimos valores, são consideradas pouco contínuas. Genericamente são apreciadas como fechadas a muito largas, com valores menores que 0.25 (fechadas), entre 1 e 5 mm (abertas a medianamente largas) e com valores entre 15 e 40 mm (muito largas). O enchimento das mesmas é maioritariamente argiloso oriundo da meteorização dos xistos presentes, até porque a meteorização dos maciços rochosos é principiada nas paredes das fraturas. É importante referir que as paredes neste caso se encontram desintegradas a decompostas.

Para a estimação da Resistência à Compressão Uniaxial (RCU) efetuaram-se cerca de 25 ensaios numa bancada de grauvaque, visto os xistos argilosos terem revelado uma resistência ao resalto nula, ou seja, ausência de resalto. Recorreu-se ao uso do martelo de Schmidt (com uma orientação paralela à estratificação, logo de 0°) tendo-se obtido um resultado médio de 55 MPa (S_3).

4.2.4.2.1.1 BGD

A classificação segundo a BGD definida para o local 1 (Figura 4.113), na Praia das Furnas, encontra-se descrita na Tabela 4.59, assim como o resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados (Tabela 4.60).

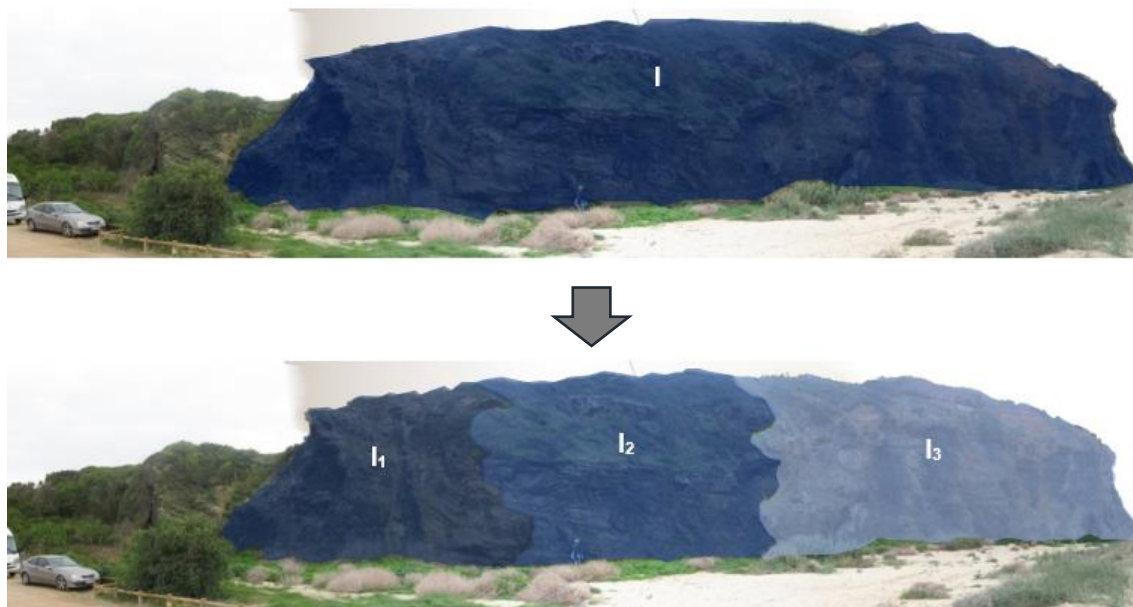


Figura 4.113 - Visualização da classificação segundo a BGD para o local 1

Tabela 4.59 - Classificação segundo a BGD para o local 1.

| Zonas | Caracterização Geológica-Geotécnica simplificada (ISRM, 1981) | | Descrição Geológica |
|-------|---|---------------------------------------|--|
| I | Xistos argilosos negros com intercalações de grauvaques L4-5; F3; S3; A4 | I ₁ (W ₃) | <u>Xistos com intercalações grauvacóides</u> Xistos argilosos moderadamente meteorizados, apresentando um tom consideravelmente mais cinzento nos locais mais afetados pela meteorização, com intercalações grauvacóides. Os xistos apresentam uma resistência ao ressalto nula, não tendo sido possível estimar a RCU para este material (resultado da sua meteorização), tendo-se efetuado ensaios numa bancada de grauvaque que apresentou uma resistência moderada (20-60 MPa). A espessura das bancadas é centimétrica, não ultrapassando os 20 cm. As fraturas, quanto ao seu espaçamento, são classificadas como moderadamente afastadas; muito pouco a pouco contínuas, com preenchimento argiloso (oriundo da meteorização dos xistos presentes). Estão avaliadas como fechadas a muito largas, na sua maioria consideradas descontinuidades entreabertas. |
| | | I ₂ (W ₁₋₂) | <u>Xisto argiloso cinzento e pequenas alternâncias de grauvaque</u> Laminações xistentas, argilosas, cinzentas e de baixa resistência intercaladas com grauvaques de granulometria fina. O maciço apresenta-se consideravelmente menos meteorizado ao nível dos xistos, sendo que a espessura das bancadas é muito reduzida (6 a 20 cm) apresentando possanças maiores para as bancadas de grauvaque. As paredes das fraturas são de muito apertadas a abertas. São classificadas como moderadamente afastadas (F ₃). |
| | | I ₃ (W ₄₋₅) | <u>Xistos afetados por escorrência</u> Xistos semelhantes aos referidos na zona I ₁ , de intensa meteorização e descoloração. Esta descoloração é devida a evidências de escorrências de águas provenientes da zona da crista, que induzem fragmentação mecânica cujo resultado origina uma cobertura de materiais na base da arriba. São visíveis dobramentos <i>en chévron</i> consequência de uma elevada tectonização do maciço (que também se verifica na zona I ₁) |

Tabela 4.60 - Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD.

| Resultados | | Zonas | I | | |
|------------|---------------------------------|----------------|---|-------------|------------------|
| | | | Método de recolha dos dados | Valor Médio | BGD |
| Parâmetros | Espessura das camadas (cm) | I ₁ | Scanline S1 | 6-20 | L ₄₋₅ |
| | | I ₂ | 1a) | | |
| | | I ₃ | 1a) | | |
| | Espaçamento entre fraturas (cm) | I ₁ | Scanline S1 | 25 | F ₃ |
| | | I ₂ | 2) | | |
| | | I ₃ | 2) | | |
| | RCU (MPa) | I ₁ | 25 ensaios realizados através do uso do martelo de Schmidt em zonas específicas com bancadas de grauvaque | 55 | S ₃ |
| | | I ₂ | 3) | | |
| | | I ₃ | 3) | | |
| | Φ - Ângulo de atrito (°) | I ₁ | Estimado tendo em conta a litologia ⁴⁾ | 15 | A ₄ |
| | | I ₂ | | | |
| | | I ₃ | | | |
| | Grau de meteorização | I ₁ | Observação visual | - | W ₃ |
| | | I ₂ | | - | W ₁₋₂ |
| | | I ₃ | | - | W ₄₋₅ |

Notas relativas à tabela:

- 1) Através de comparação com a *scanline* realizada na zona I₁
 - a. Tendo em consideração que as bancadas de grauvaque apresentam maior possança.
- 2) Este parâmetro foi estimado visualmente a partir de fotografia recorrendo a uma comparação com a arriba onde se efetuou a *scanline*, devido à inacessibilidade dos afloramentos superiores, local onde as camadas se encontram menos meteorizadas comparativamente com a zona da base.
- 3) Extrapolaram-se os dados relativos aos ensaios com o martelo de *Schmidt* (para avaliar a resistência à compressão uniaxial) efetuados na *scanline* S1, para as sub-zonas I₂ e I₃ devido à sua semelhança litológica.
- 4) Este valor foi considerado pelo facto de ambos os locais serem maioritariamente constituídos por xistos argilosos, podendo no entanto ser ponderado um ângulo de atrito (Φ) de 22,5 (média de valores atribuídos para xistos e grauvaques) devido à presença de grauvaques.

4.2.4.2.1.2 GSI

Através de uma observação cuidada das características do maciço rochoso, como a sua composição e estrutura bem como a condição das superfícies de descontinuidade (com especial realce para a rugosidade e estado de meteorização), foi possível a determinação do índice GSI através da classificação generalizada para maciços litologicamente heterogêneos, tipo *Flysch* por Marinós & Hoek ((2001).

O local 1, referente à arriba NE, é composto por alternâncias frequentes de rochas relativamente fortes e fracas que, por sua vez, se encontram tectonicamente perturbadas (características que definem os maciços do tipo *Flysch*) (Marinós & Hoek, 2001) (Figura 4.114). Apesar de as bancadas grauvaquídes promoverem um aumento da resistência local no maciço rochoso, verificam-se alguns sinais de rotura controlada por planos de descontinuidade.

Com o intuito de não perder objetividade na determinação do índice, situação igualmente advertida pelos autores referidos, recorreu-se a uma estimativa do mesmo (GSI) segundo um intervalo de valores e não apenas um valor único, pretendendo-se, deste modo, demonstrar a elevada variabilidade (podendo mesmo apresentar valores muito distintos) que parâmetros como a rugosidade e o estado de meteorização das paredes das descontinuidades apresentam ao longo de uma mesma *scanline* inventariada durante os trabalhos de campo (Brissos, 2013).

Tendo em consonância as observações de campo e as características para maciços rochosos heterogêneos por Marinós & Hoek, elegeu-se o local 1 quanto à sua composição e estrutura como pertencente à classe F apresentando descontinuidades de fraca a média qualidade (Tabela 4.61).

Tabela 4.61 - Avaliação do índice GSI para a arriba NE, local 1

| <i>Local</i> | Composição e Estrutura | Condições das descontinuidades | GSI |
|--------------|---|--|------------|
| 1 | Bancadas de xisto argiloso com intercalações de grauvaques intensamente tectonizados e dobrados, com duas famílias principais de descontinuidades e aleatórias. | Paredes moderadamente rugosas e meteorizadas, consideradas desintegradas a decompostas | 25±5 |
| | Classe F | Fraca a média qualidade | |



Figura 4.114 – Comparação entre o maciço rochoso no local 1 com a estrutura referente à classe F, definida por Marinós & Hoek, (2001)

4.2.4.2.2 Local 2 – Arriba W

Tendo em consideração a extensão da praia em estudo, como já referido, existiu a necessidade de divisão em locais. O local definido como local 2, onde foi realizada uma segunda scanline denominada S2, sucede-se ao local 1 na direção S (Figura 4.115).



Figura 4.115- Panorâmica da arriba W e respetiva localização da scanline S2

Este é facilmente identificável por se tratar de uma zona consideravelmente afetada por subescavação (Figura 4.116), ou seja, identificam-se cavidades na rocha em certas zonas da arriba resultado da abrasão marinha (erosão das ondas).



Figura 4.116 - Exemplo de subescavação na arriba correspondente ao local 2.

A localização da scanline em relação à arriba encontra-se destacada na Figura 4.115, e com mais pormenor na Figura 4.117, sendo que as suas características se encontram discriminadas na Tabela 4.62.

Tabela 4.62 - Características da scanline S2.

| Scanline S2 | Comprimento (m) | Localização | Azimute (°) | Inclinação (°) | Espessura das bancadas na zona | Espaçamento médio fraturas S (cm) | | Litologia |
|----------------|--------------------|---------------------------------|----------------|-------------------|--------------------------------------|---|----------------|---------------------------------|
| | 2.20 | 8°47'12,857"W 37°42'47,249"N | 4 | 0 | L ₄₋₅ | 21 | F ₃ | Xisto argiloso/ Grauvaque |



Figura 4.117 - Localização pormenorizada da *scanline* S2.

O enquadramento geomorfológico da arriba em questão é análogo ao já exposto anteriormente. Mais concretamente, as fraturas apresentam-se fechadas (valores entre 0.1 e 0.5 mm) a moderadamente largas (com valores entre 3 e 10 mm), muito pouco (apresentam um número considerável de valores menores que 1 m) a moderadamente contínuas (algumas fraturas exibem valores próximos dos 4 m) e apresentam, na sua grande maioria, enchimento de material argiloso. As paredes das descontinuidades quanto ao seu grau de meteorização encontram-se desintegradas (a rocha apresenta-se friável, apesar de os grãos minerais estarem decompostos, mantendo-se a estrutura original (ISRM, 1981)). Relativamente à rugosidade das paredes das fraturas, esta oscila entre medianamente rugosa a muito rugosa (R_3 a R_{4-5}). Relativamente ao grau de meteorização do material rochoso na arriba em questão, este apresenta-se moderadamente meteorizado (W_3) a muito meteorizado em certas zonas (W_{4-5}).

Outra característica importante a ter em consideração no estudo deste local é a Resistência à Compressão Uniaxial (RCU). Para obtenção deste parâmetro, os ensaios (25) com martelo de *Schmidt* (orientado 45° , logo perpendicularmente à estratificação) não se efetuaram no local da *scanline* S2 devido à rugosidade da arriba nessa mesma zona mas sim a Sul da *scanline* (numa bancada maioritariamente grauvacóide), apresentando um valor médio de 43 MPa (S_3).

4.2.4.2.2.1 BGD

Através dos resultados obtidos mediante observações de campo e ensaios recorrendo ao martelo de *Schmidt*, a classificação segundo a BGD neste local foi dividida em duas zonas como se pode observar na Figura 4.118 e na Tabela 4.63.



Figura 4.118 - Visualização da classificação segundo a BGD para o local 2

A zona de separação de ambas encontra-se com mais pormenor na Figura 4.119. Observam-se evidências de uma meteorização mais evidente na zona I_3 , resultado de escorrências pontuais e uma forte influência marinha.



Figura 4.119 - Pormenor da zona de separação entre as zonas definidas pela BGD para o local 3

Tabela 4.63 - Classificação segundo a BGD para o local 2

| Zonas | Caracterização Geológica-Geotécnica simplificada (ISRM, 1981) | | Descrição Geológica |
|-------|---|--|--|
| I | I ₃ L ₄₋₅ ; F ₃ ; S ₃ ; A ₄ (W ₄₋₅) | <u>Xistos afetados por escorrência</u> | Xistos semelhantes aos referidos na zona I ₂ , xistos argilosos com intercalações grauvacóides, apresentando uma intensa meteorização e descoloração. Esta descoloração é devida a evidências de escorrências de águas provenientes da zona da crista, que induzem uma certa fragmentação mecânica cujo resultado origina uma cobertura de materiais na base da arriba. O maciço é intensamente afetado pela abrasão marinha. |
| II | <u>Xistos argilosos</u> L ₄₋₅ ; F ₃ ; S ₃ ; A ₄ (W ₁₋₂) | | Zona maioritariamente xistosa, em que as fraturas se encontram preenchidas com material argiloso (apesar do enchimento com este tipo de material não se demonstrar tão evidente quanto o da zona I ₃) ou por vezes arenoso. São visíveis alguns filões preenchidos por quartzo. A espessura das camadas é reduzida, e as fraturas podem ser classificadas de moderadamente afastadas. Quanto à abertura na sua generalidade são fechadas a muito largas, e muito pouco a pouco contínuas. Os xistos neste local da arriba apresentam um estado de meteorização reduzido, consequentemente um valor de RCU elevado (60 – 200 MPa). Apesar não se terem efetuado ensaios neste local, considerou-se como base a classificação proposta pela ISRM (1981). |

As figuras seguintes, correspondentes à zona I₃ (local 2), comprovam o elevado grau de meteorização das arribas neste local (Figura 4.120).



Figura 4.120- Visualização do início do local 2

O areal das praias junto a esta zona da arriba encontra-se ocupada por materiais fragmentados provenientes das zonas rochosas que apresentam menor resistência, consequentemente mais afetadas pela meteorização criando uma cobertura de materiais com dimensões reduzidas, observando-se alguns de dimensões médias assemelhando-se a pequenos blocos. Esta cobertura atinge uma distância aproximada de cerca de 1 metro desde a base da arriba como se pode observar na Figura 4.121 e Figura 4.122 (obtidas no verão de 2015).



Figura 4.121 - Cobertura de materiais na base, local 2, zona I₃



Figura 4.122- Local 2, zona I₃.

As arribas correspondentes à zona definida como II revelam-se maioritariamente distintas da zona I₃ quanto ao seu estado de meteorização (reduzido), facto este que fomentou a necessidade desta separação dentro da mesma arriba (W). A zona II pode ser observada com maior pormenor na Figura 4.123.



Figura 4.123 - Local 2, zona II

Na divisão em zonas, segundo a BGD e respetiva caracterização geológica, entendeu-se que, devido às semelhanças litológicas, características estruturais e mecânicas do maciço rochoso, este deveria ser dividido em duas zonas, sendo que a primeira é em parte semelhante à representada já no local 1 como I₃. Foram, no entanto, realizadas medições através de uma *scanline* (S2) nesta arriba (local 2) que revelaram valores ligeiramente diferentes dos obtidos para I₃ no local 1, todavia estes valores obtidos para os parâmetros em questão, assim como os anteriormente obtidos, encontram-se na mesma classe intermédia, na classificação da BGD, o que reforça o facto da zona I₃ do local 1 se enquadrar igualmente na arriba do local 2 (Tabela 4.64).

Tabela 4.64 - Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD

| Resultados | | I (I ₃) | | | II | | |
|------------|---------------------------------|--|-------------|------------------|--|-------------|------------------|
| | | Método de recolha dos dados | Valor Médio | BGD | Método de recolha dos dados | Valor Médio | BGD |
| Parâmetros | Espessura das camadas (cm) | Scanline S2 | 6-20 | L ₄₋₅ | 1b) | 6-20 | L ₄₋₅ |
| | Espaçamento entre fraturas (cm) | Scanline S2 | 21 | F ₃ | 1b) e 5) | 6-20 | F ₄ |
| | RCU (MPa) | Scanline S2 | 43 | S ₃ | 5) | 60-200 | S ₁₋₂ |
| | ϕ - Ângulo de atrito (°) | Estimado tendo em conta a litologia 4) | 15 | A ₄ | Estimado tendo em conta a litologia 4) | 15 | A ₄ |
| | Grau de meteorização | Observação visual | - | W ₄₋₅ | Observação visual | - | W ₁₋₂ |

Notas relativas à tabela:

- 2) Através de comparação com a *scanline*
 - a. Realizada na zona I₁;
 - i. Tendo em consideração que as bancadas de grauvaque apresentam maior possança.
 - b. Realizada no local 2 (*scanline* 21S2)

- 4) Este valor foi considerado pelo facto de ambos os locais serem maioritariamente constituídos por xistos argilosos, podendo no entanto ser ponderado um ângulo de atrito (Φ) de 22,5 (média de valores atribuídos para xistos e grauvaques) devido à presença de grauvaques.
- 5) Não foram realizadas medições nesta zona da arriba, nem ensaios para avaliar a RCU no entanto considerou-se como base a classificação proposta pela ISRM (1981).

4.2.4.2.2.2 GSI

Para a obtenção do índice GSI, como já referido aquando da sua determinação para o local 1, este resulta de uma observação das várias características do maciço rochoso, mais concretamente para a arriba em questão das características de um maciço tipo *Flysch*.

O local 2, correspondente à arriba W, é caracterizado por xistos argilosos consideravelmente afetados pela tectónica, que formam uma estrutura desorganizada. É possível observar que, devido a esta organização, concomitantemente com os fenómenos evidentes de escorrências, as camadas mais finas são transformadas em pequenos blocos de rocha na base.

Como já referido, com o intuito de não perder objetividade na determinação do índice (GSI), recorreu-se a uma estimação do mesmo segundo um intervalo de valores e não apenas um valor único (in Brissos, 2013).

Segundo observações visuais (Figura 4.124) e dados obtidos através das medições de campo, o local 2, quanto à sua composição e estrutura, pode-se enquadrar na classe H, exibindo descontinuidades de muito fraca a fraca qualidade (Tabela 4.65).

Tabela 4.65 - Avaliação do índice GSI para a arriba W, local 2.

| <i>Local</i> | Composição e Estrutura | Condições das descontinuidades | GSI |
|--------------|--|--|------------|
| 2 | Bancadas de xisto argiloso com intercalações grauvacóides apresentando uma intensa meteorização e descoloração, com duas famílias principais de descontinuidades e aleatórias. | Paredes mediana a moderadamente rugosas e meteorizadas, por vezes muito meteorizadas, apresentam-se desintegradas. | 20±5 |
| | Classe H | Muito fraca a fraca qualidade | |



Figura 4.124 - Comparação entre o maciço rochoso no local 2 com a estrutura referente à classe H, definida por Marinós & Hoek, (2001)

4.2.4.2.3 Local 3 – Arriba SW

A panorâmica relativa à arriba SW, assim como a scanline (Tabela 4.66) realizada neste local encontram-se representadas na Figura 4.125.



Figura 4.125- Panorâmica da arriba SW e respetiva localização da scanline S3.

Tabela 4.66 - Características da scanline S3.

| Scanline S3 | Comprimento (m) | Localização | Azimute (°) | Inclinação (°) | Espessura das bancadas | Espaçamento médio S (cm) | | Litologia |
|----------------|--------------------|---------------------------------|----------------|-------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------|---------------------|
| | 2.50 | 8°47'20,276"W 37°42'43,801"N | 160 | 30 | L ₄₋₅ | 13 | F ₄ | Xistos argilosos |

A arriba SW, definida como local 3, é caracterizada pela ocorrência de um sinforma (dobra cujos flancos convergem para baixo, ou seja definida como uma dobra com concavidade voltada para cima) em que a charneira se encontra afetada por subescavação basal (Figura 4.126).



Figura 4.126 - Charneira da dobra afetada por subescavação basal.

A *scanline* foi efetuada numa zona da arriba sensivelmente mais meteorizada com o intuito de obtenção das medidas segundo o pior cenário possível (Figura 4.127).

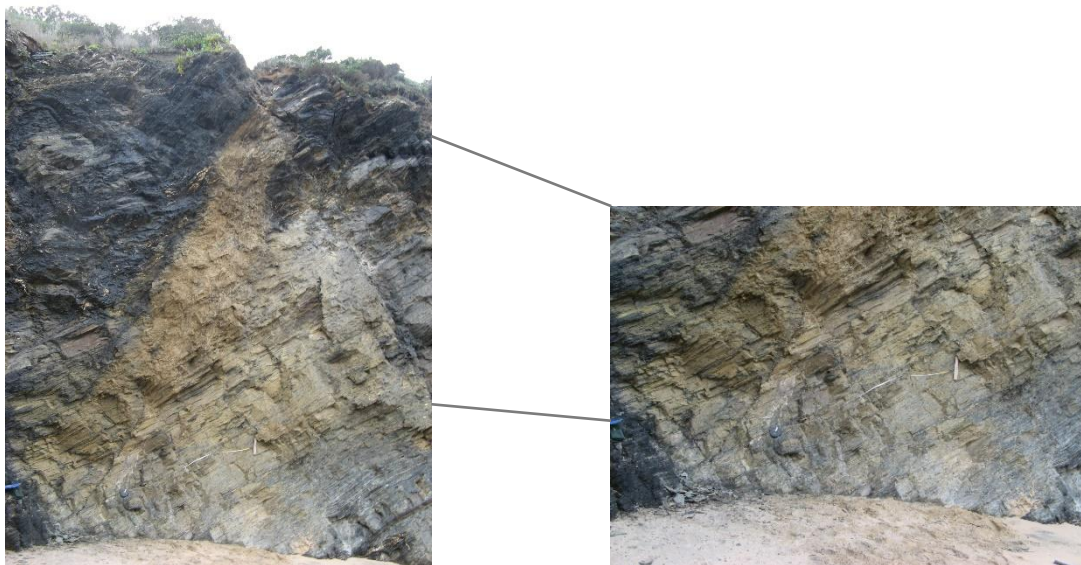


Figura 4.127 - Pormenor da localização da scanline S3.

A arriba, no geral, encontra-se intensamente fraturada, em que as litologias xistentas apresentam evidências de descoloração na zona mais a Este (definida de seguida como zona III).

As discontinuidades apresentam-se fechadas a muito largas, com enchimento argiloso ou arenoso e medianamente rugosas. No que respeita à persistência podem ser classificadas como muito pouco a pouco contínuas.

Efetou-se um ensaio com martelo de *Schmidt* no local da *scanline*, tendo-se obtido um valor médio de RCU de 58 MPa devido ao seu reduzido estado de meteorização (W_{1-2}), se bem que num ensaio realizado num afloramento contíguo igualmente xistento, a RCU média foi de 40 MPa, indiciando uma zona consideravelmente mais afetada pela meteorização (W_3).

4.2.4.2.3.1 BGD

Através dos resultados obtidos mediante observações de campo e ensaios recorrendo ao martelo de Schmidt, a classificação segundo a BGD neste local foi dividida em duas zonas como se pode observar na Figura 4.128 e na Tabela 4.67 e 4.68.



Figura 4.128 – Visualização da classificação segundo a BGD para o local 3

Tabela 4.67 – Classificação segundo a BGD para o local 3

| Zonas | Caracterização Geológica-Geotécnica simplificada (ISRM, 1981) | Descrição Geológica |
|-------|---|---|
| II | <p><u>Xistos argilosos escuros</u> $L_{4-5}; F_3; S_3; A_4$ (W_{1-2})</p> | <p>Zona maioritariamente xistosa, em que as fraturas se encontram preenchidas com material argiloso (apesar do enchimento com este tipo de material não se demonstrar tão evidente quanto o da zona I_3) ou por vezes arenoso. São visíveis alguns filões preenchidos por quartzo. A espessura das camadas é reduzida, e as fraturas podem ser classificadas de moderadamente afastadas. Quanto à abertura, na sua generalidade, são fechadas a muito largas, e muito pouco a pouco contínuas. Os xistos neste local da arriba apresentam um estado de meteorização reduzido, consequentemente um valor de RCU elevado (58 MPa).</p> |
| III | <p><u>Xisto argiloso cinzento e pequenas alternâncias de grauvaque</u> Semelhante a I_3 $L_{4-5}; F_4; S_3; A_4$ (W_3)</p> | <p>Laminações xistentas, argilosas, cinzentas e de baixa resistência intercaladas com grauvaques de granulometria fina. Esta zona pode, em muito ser considerada semelhante a I_2, quanto à espessura reduzida das bancadas apresentando maiores valores para as bancadas de grauvaque, à abertura das fraturas que podem se consideradas fechadas a entreabertas. Apesar da semelhança das características referidas, o maciço neste local apresenta-se mais meteorizado, corroborado pela descoloração e desintegração das paredes das discontinuidades, apresentando uma RCU média de 40 MPa. O espaçamento das fraturas é da ordem dos 13 cm, sendo classificadas de próximas.</p> |

Tabela 4.68- Quadro resumo dos valores dos parâmetros e do respetivo método de recolha de dados utilizados para a BGD

| Resultados | | II | | | III | | |
|------------|---------------------------------|---|-------------|------------------|---|-------------|------------------|
| | | Método de recolha dos dados | Valor Médio | BGD | Método de recolha dos dados | Valor Médio | BGD |
| Parâmetros | Espessura das camadas (cm) | 1c) | 6-20 | L ₄₋₅ | Scanline S3 | 30 | L ₄₋₅ |
| | Espaçamento entre fraturas (cm) | 1c) | 20-60 | F ₃ | Scanline S3 | 13 | F ₄ |
| | RCU (MPa) | Scanline S3B | 58 | S ₃ | Scanline S3A | 40 | S ₃ |
| | ϕ - Ângulo de atrito (°) | Estimado tendo em conta a litologia ²⁾ | 15 | A ₄ | Estimado tendo em conta a litologia ²⁾ | 15 | A ₄ |
| | Grau de meteorização | Observação visual | - | W ₁₋₂ | Observação visual | - | W ₃ |

Notas relativas à tabela:

- 1) Através de comparação com a *scanline*
 - a. Realizada na zona I₁:
 - i. Tendo em consideração que as bancadas de grauvaque apresentam maior possança.
 - b. Realizada no local 2 (*scanline* S2)
 - c. Realizada no local 3 (*scanline* S3)
- 2) Este valor foi considerado pelo facto de ambos os locais serem, maioritariamente constituídos por xistos argilosos, podendo todavia ser ponderado um ângulo de atrito (ϕ) de 22,5 (média de valores atribuídos para xistos e grauvaques) devido à presença de grauvaques.

4.2.4.2.3.2 GSI

O local 3, que corresponde à arriba SW, assim como o local 1 (arriba NE), apresenta-se intensamente dobrado, resultado de uma ação tectónica significativa nesta zona. Apesar da evidente desorganização estrutural, a presença de filões de quartzo induz uma certa resistência à meteorização e à erosão constituindo deste modo um fator favorável à não desagregação do maciço neste local (Tabela 4.69) (Faculdade de Engenharia/Universidade do Porto. (n.d.)). De modo a não perder objetividade na determinação do índice (GSI), recorreu-se a uma estimação do mesmo segundo um intervalo de valores e não apenas um valor único (Brissos, 2013).

Tabela 4.69 - Avaliação do índice GSI para a arriba SW, local 3

| Local | Composição e Estrutura | Condições das descontinuidades | GSI |
|-------|--|---|------|
| 3 | Bancadas de xisto argiloso de resistência moderada, logo um estado de meteorização reduzido, com duas famílias principais de descontinuidades e aleatórias | Paredes medianamente rugosas e meteorizadas, apresentando-se descoloradas | 25±5 |
| | Classe F | Fraca a média qualidade | |

Segundo observações visuais e dados obtidos através das medições de campo, o local 3 no que concerne à sua composição e estrutura, pode-se enquadrar na classe F, exibindo descontinuidades de fraca a média qualidade (Figura 4.129).



Figura 4.129 - Comparação entre o maciço rochoso no local 3 com a estrutura referente à classe F, definida por Marinos & Hoek, (2001)

4.2.4.3 Zonamento Geomecânico

Para o zonamento geomecânico da frente das arribas estudadas na Praia das Furnas, definiram-se três zonas geomecânicas. Esta diferenciação deveu-se à existência de atuações díspares ao nível de estabilidade inclusive em locais litologicamente análogos.

De referir que a zona definida como I, correspondente à arriba NE constituída por xistos argilosos negros com intercalações de grauvaques, foi subdividida em três subzonas tendo esta subdivisão tido primeiramente em consideração a sua similitude litológica. Deste modo, cada uma destas zonas apresenta características próprias que permitem diferenciá-las em zona I_1 , I_2 (Figura 4.131) e I_3 (envolve o local 1 e 2). A principal característica que distingue as subzonas recai no estado de meteorização do maciço rochoso, que é visivelmente mais elevado para a zona I_3 (Figura 4.130) resultado de escorrências provenientes da crista, que originam descoloração do material rochoso. Na subzona I_1 os xistos argilosos apresentam-se moderadamente meteorizados, traduzindo-se em tonalidades cinzentas nos locais mais afetados. A subzona I_2 difere das restantes, quer ao nível do seu grau de meteorização, muito pouco meteorizado, quer pelo facto de exibir uma litologia xistosa consideravelmente mais laminar (juntamente com grauvaques de granulometria fina) do que as restantes, o que, apesar de lhe conferir menor resistência, acaba por se revelar, no entanto, como uma subzona do maciço consideravelmente mais sã do que as restantes (I_1 e I_3).

A estrutura da zona I, apesar, de litologicamente semelhante, apresenta uma intensa fracturação, mais concretamente na subzona I_3 , o que permite inferir, com o apoio dos dados relativos à análise cinemática a possibilidade dos materiais neste troço da arriba poderem sofrer roturas planares e/ou por cunha. Os materiais, já dispostos na base da arriba (Figura 4.132) na subzona I_1 e I_3 , são um indício de prévios destaques de pequenos volumes de material por cunha.

Também na zona I_3 , que sucede à zona I_3 do local 1, verifica-se uma possibilidade de tombamento resultado de fracturação subvertical e corroborado pela presença de blocos na base.

Nas Fig. seguintes evidenciam-se consolas de reduzido balanço no topo da arriba, resultado de uma heterogeneidade do maciço no que diz respeito à fracturação presente.



Figura 4.130 - Zona geomecânica I_3 , pertencente ao local definido como 1.



Figura 4.131 - Zona geomecânica I₁ e I₂, pertencente ao local 1



Figura 4.132 - Zona de transição entre o local 1 e 2, definida no entanto em termos litológicos e de estabilidade como pertencendo à zona I₃ que lhe precede

A zona II (local 2 e 3) pertence ao troço da arriba mais afetado pela ação marinha, onde se identificam cavidades na rocha (igualmente identificáveis na subzona I₃ correspondente ao troço do local 2) que se revelam como possíveis locais de fraqueza estrutural.

Nesta zona (Figura 4.133), os materiais rochosos apresentam características geotécnicas médias, com um baixo grau de meteorização e um valor de RCU considerado elevado. Revela-se, contudo, uma zona estruturalmente desorganizada, resultado de uma litologia xistenta notável, com destaque para filões de quartzo distribuídos pela arriba, mais evidentes na base que induzem uma maior resistência à arriba.



Figura 4.133- Zona geomecânica II, referente ao local definido como 2

A zona definida como II (relativa ao local 3) (Figura 4.134) tendo em consideração o seu baixo grau de meteorização e as suas características geotécnicas, não mereceu uma análise cinemática extensa, à exceção do local referente ao sinforma.



Figura 4.134 - Zona geomecânica II, referente ao local definido como 3

Verifica-se, neste último local, uma possibilidade de rotura por tombamento, apoiada pela existência de alguns blocos destacados no topo da arriba (Figura 4.135).



Figura 4.135 - Evidência de blocos destacados no topo da arriba, zona II (local 3)

De salientar que se definiu ainda uma terceira zona, dentro do local 3, que apresenta laminações xistentas demonstrando uma certa descoloração (Figura 4.136).



Figura 4.136 - Pormenor da zona geomecânica III, local 3.

Esta zona difere maioritariamente da referida anteriormente, como I_2 , devido ao grau de meteorização que apresenta (moderado) e também da abertura das suas fraturas (F_4 – fechada a entreaberta).

Quanto à sua cinemática, é possível identificar duas famílias principais de descontinuidades em que, a partir das mesmas individualmente, poderão ocorrer escorregamentos planares. Já a intersecção dos planos das últimas famílias poderá gerar deslizamentos em cunha.

Em resumo, o local 2 (Figura 4.137) apresenta um elevado grau de meteorização (zona I_3) e evidências de escorregamentos planares e em cunha, sendo estes últimos consequência de uma intersecção dos planos correspondentes à fracturação e estratificação, assim como de rotura por tombamento através de fraturas subverticais.

Apesar das particularidades mencionadas terem um papel importante na criação de instabilidade, visto o areal ser extenso e as arribas se encontrarem a uma distância considerável do mar, tem como consequência natural a não tão excessiva aproximação por parte dos frequentadores da praia às arribas neste local não obstante tratar-se de um local de passagem, já bastante fustigado por quedas de pequenos blocos devendo por este facto ser tido em conta o seu perigo potencial.



Figura 4.137 - Visualização da extensão do local 2, com pormenor para a zona geomecânica II

Pode-se concluir que no local designado como 3, a zona II, referente à charneira do sinforma, e a zona III (local da *scanline*) (Figura 4.138) podem ser consideradas zonas que necessitam de uma avaliação constante devido aos possíveis destaques que podem ocorrer, assim como devido à utilização, pelos veraneantes desta zona da praia, não só por ser um meio de sombra, mas também por se encontrar perto da água do mar, como se pode observar na figura seguinte.



Figura 4.138 - Local 3, com destaque para o sinforma localizado na zona II, e para a zona III à sua direita

Através de observações de campo, e com o apoio e confirmação da análise cinemática, são identificáveis possíveis ocorrências de roturas em cunha com uma probabilidade de cerca de 37%, seguida de roturas do tipo planar e tombamento com uma probabilidade de ocorrência de 13% e 12% respetivamente.

Tendo em consideração a variação dos índices de rotura consoante a orientação da arriba, é possível avaliar a significância do tipo de rotura para cada zona (Anexo- Probabilidade de ocorrência máxima com base na conjugação dos três índices de rotura). Deste modo, o IRP revela-se pouco significativo ao longo dos 3 locais definidos da arriba. O IRC considera-se reduzido nas zonas I₁ e I₂, e moderado na zona I₃ do local 1. Para o local 2, na mesma zona (I₃) é avaliado como reduzido, apresentando alguns registos que indicam IR moderado nomeadamente na zona de separação entre as zonas I₃ e II. No local 3, apesar da identificação de uma intersecção dos planos das duas famílias principais de descontinuidades, o IRC apresenta-se como reduzido. Quanto ao IRT para o local 1 manifesta-se como pouco significativo na zona I₁ e I₂, e reduzido na zona I₃. A continuação desta mesma zona (I₃) é avaliada como pouco significativa, porém com alguns registos que indicam IR reduzido particularmente na zona de separação entre I₃ e II. A zona II, correspondente ao local 3, tem um IRT global pouco significativo, sendo reduzido na zona relativa ao sinforma corroborando os fundamentos anteriores.

Refere-se ainda que, apesar da generalidade das movimentações controladas por análise cinemática ser identificada no terreno, a elevada meteorização e tectonização das litologias em alguns locais promove, pontualmente, escorregamentos circulares (comportamento próximo da isotropia) (Brissos, 2013).

A reavaliação do risco pode ser efetuada de uma forma semi-quantitativa, estimando o potencial de ocorrência do fenómeno associado aos danos potenciais provocados pela ocorrência do evento sintetizados numa escala de índice de risco.

Conjuntamente, pode ser efetuada avaliação do risco tendo em consideração a análise de diversos fatores que influenciam a estabilidade das arribas e os parâmetros correspondentes, de modo a estabelecer uma apreciação quanto à sua estabilidade e consequentemente segurança, sumariados numa escala de índice de qualidade.

4.2.4.4 Reavaliação do risco preliminar

Para a classificação quanto à probabilidade de ocorrência foi considerada a alterabilidade dos materiais, assim como a solicitação da base das arribas pela ação marinha como características nas quais a Praia das Furnas apresenta importantes modificações. Os materiais, no geral, apresentam-se bastante alterados e com um elevado grau de meteorização, particularmente na zona I₃ pertencente quer ao local 1 como 2. Os efeitos da ação das ondas do mar são manifestamente evidentes através da observação de locais que se apresentam subescavados na zona da base criando zonas de fraqueza estrutural na arriba, tendo deste modo sido reclassificada como muito elevada (5) (Tabela 4.70 e Tabela 4.71).

Tabela 4.70 - Reavaliação do risco para as arribas da Praia das Furnas

| Praia das Furnas | PO | M | D | C | Perigosidade Aparente | Vulnerabilidade | Tipologia de praia | IR |
|-------------------------------|-----------|----------|----------|----------|------------------------------|------------------------|---------------------------|-----------|
| Avaliação preliminar de risco | 5 | 4 | 4 | 1 | 20 | 4 | IV | 0.64 |
| Reavaliação do risco | 5 | 5 | 4 | 1 | 25 | 4 | IV | 0.80 |

Tabela 4.71- Escala para a definição do IR.

| <i>Índice de Risco (IR)</i> | | |
|-----------------------------|------------------|--|
| <i>Muito Elevado</i> | ≥ 0.8 a 1 | |
| <i>Elevado</i> | ≥ 0.6 a 0.8 | |
| <i>Moderado</i> | ≥ 0.4 a 0.6 | |
| <i>Reduzido</i> | ≥ 0.2 a 0.4 | |
| <i>Não significativo</i> | < 0.2 | |

Nesta praia, o parâmetro da magnitude na reavaliação do risco foi considerado muito elevado. Este valor foi assim definido pelo facto de, comparativamente à campanha de observações de campo de outubro de 2014 para Agosto de 2015, se terem verificado ligeiras alterações (Figura 4.139 e Figura 4.140). No caso específico, a área de influência dos blocos destacados na base apresenta-se consideravelmente maior, assim como o número e tamanho dos mesmos



Figura 4.139 - Observações de campo zona I₃ local 2, Outubro de 2014



Figura 4.140 - Observações de campo zona I₃ local 2, Agosto de 2015

Verifica-se um desgaste desigual dos materiais rochosos em certas zonas, tendo-se constatado que a intercalação de grauvaques com camadas de xistos com diferentes resistências originam saliências na topografia da arriba e, por outro lado, causam depressões nos locais com materiais menos resistentes. A variação nas formas de relevo cria vertentes assimétricas justificando igualmente o valor muito elevado dado ao parâmetro magnitude.

É de realçar que a Praia das Furnas fica localizada relativamente perto da vila de Milfontes, é de muito fácil acesso quer através de passadiços como de estacionamento na envolvente, o que permite uma maior afluência à mesma. A extensão do areal varia consoante os locais definidos. A zona em redor do troço de arriba no local 1 serve de acesso ao parque de estacionamento, podendo ser feito inclusive através de um passadiço de madeira até certo ponto ou pelo areal junto à arriba, aumentando a vulnerabilidade deste local.

Apesar das particularidades mencionadas relativamente ao local 2 terem um papel importante na criação de instabilidade, visto o areal ser extenso e as arribas se encontrarem a uma distância considerável do mar, tem como consequência natural a não tão excessiva ocupação de espaços muito próximos por parte dos frequentadores da praia na base das arribas. No entanto, trata-se de um local de passagem, e já bastante fustigado por quedas de pequenos blocos devendo por este facto ser tido em conta o seu perigo potencial (Figura 4.141).

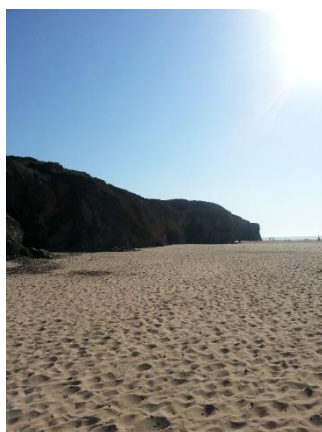


Figura 4.141- Extensão do areal no local 2, Praia das Furnas

A Praia das Furnas, ao nível de sistemas de contenção e perímetros de segurança, revela-se francamente deficiente, já que não existe qualquer sinalização ou perímetros que impeçam a aproximação e consequente ocupação. Não existem pressões no topo da arriba devido ao difícil acesso a esta zona, não criando uma fustigação extra na zona da crista.

A nova avaliação do risco atribui um IR de 0.80 comparativamente com o valor de 0.64 anteriormente definido. Esta disparidade de valores é fundamentada pelo parâmetro muito elevado da magnitude referido anteriormente, originando um valor de perigosidade aparente consequentemente maior.

4.2.4.5 Avaliação qualitativa e quantitativa do índice de qualidade dos taludes

Para a Praia das Furnas, e com o objetivo de classificar o grau de risco do talude, para avaliação do seu índice de qualidade, estabeleceu-se, como já referido anteriormente na introdução deste capítulo, um valor entre 1 e 5 (Tabela.4.3), proporcionando um apreciação da condição do talude em estudo tendo sido considerados sete fatores, a saber a geometria, a geologia do terreno, a inspeção visual para avaliação do estado de conservação e manutenção do local, o histórico de acidentes e eventuais intervenções prévias, a informação quanto ao revestimento existente e quanto às condições ambientais e de tráfego da zona inerente à praia. Cada um destes fatores, e respetivos parâmetros influenciam o comportamento das arribas das praias e em consequência o risco de instabilidade.

Após a definição do peso dos fatores, os parâmetros que os caracterizam são ponderados tendo em consideração os pesos atribuídos a cada fator permitindo a obtenção do índice final.

Relativamente à avaliação do potencial de queda de blocos, a definição de pontuações corresponde às particularidades das arribas em estudo, segundo os parâmetros definidos por Pinheiro *et al.*, 2014.

Assim o talude apresenta um risco médio e requer, por conseguinte, uma intervenção a curto prazo, correspondendo a pontuação obtida para o sistema RHRSm2, de 228 (Tabela 4.72), a um *rating* de 3 (Tabela 4.1) para o cálculo do índice de qualidade.

Tabela 4.72 - Aplicação do sistema RHRSm2 para a Praia das Furnas

| Sistema RHRSm2 | | |
|------------------------------|--|------------|
| Categoria | Dados | Pontuação |
| Altura do talude | 10-20 m | 9 |
| Inclinação | 40-50° | 27 |
| Zona de Influência | Perto | 27 |
| Condição Estrutural | Descontinuidades com orientação desfavorável | 27 |
| Alteração do Maciço | W ₃ - W ₄ | 27 |
| Erosão | Elevada | 27 |
| Tamanho dos blocos | 0.53 | 9 |
| Volume de blocos por evento | NA | NA |
| Quantidade de blocos | Alguns | 27 |
| Irregularidade da face | Alta | 27 |
| Presença de água | Húmido | 9 |
| Historial de queda de blocos | Quedas ocasionais | 9 |
| Clima | Baixa precipitação | 3 |
| Total | | 228 |
| *NA - Não Aplicável | | |

Através da aplicação da metodologia para o cálculo do índice de qualidade das arribas obteve-se um índice de aproximadamente 3 (Quadro 4.5), podendo afirmar-se que o grau de risco é médio requerendo ações de monitorização e manutenção.

A análise do grau de risco da Praia das Furnas através desta metodologia aproxima-se da avaliação realizada através da análise semi-quantitativa, complementando-a. Apresenta-se, no entanto, um pouco menos conservadora pelo facto de não avaliar em pormenor alguns parâmetros importantes como o dano potencial e a capacidade de resposta.

| Cálculo do Índice de qualidade | | | | | | | |
|--------------------------------|----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------|--|--------------------|
| Fator | Peso (W) | Parâmetro | Ponderação dos Parâmetros (Wi') | Dados | Rating (Xi') | Cálculo da cotação atribuída a cada um dos parâmetros (Xi) | Cálculo de W*Σ(Xi) |
| Geológico | 0.20 | Tipo de Litologia | 0.30 | Xisto-Grauvacóide | 5 | 1.5 | 0.76 |
| | | Grau de Alteração do maciço | 0.20 | W ₃ - W ₄ | 3 | 0.6 | |
| | | Fraturação | 0.20 | Sim | 4 | 0.8 | |
| | | Sistema RHRSm2 | 0.30 | 228 | 3 | 0.9 | |
| Geométrico | 0.22 | Altura do Talude | 0.45 | 10-20m | 2 | 0.9 | 0.561 |
| | | Inclinação do Talude | 0.55 | 41-50° | 3 | 1.7 | |
| Ambiental/Tráfego | 0.10 | Precipitação Média Anual | 0.40 | 500-1000mm | 3 | 1.2 | 0.26 |
| | | Velocidade Máxima de Tráfego | 0.10 | 50-60 | 1 | 0.1 | |
| | | Tráfego Médio Diário | 0.10 | <18000 | 1 | 0.1 | |
| | | Zona Sísmica Tipo 1 | 0.20 | 1.2 | 4 | 0.8 | |
| | | Zona Sísmica Tipo 2 | 0.20 | 2.4 | 2 | 0.4 | |
| Inspeções Visuais | 0.14 | Estado de Conservação | 0.60 | Médio | 3 | 1.8 | 0.42 |
| | | Estado de Manutenção | 0.40 | Mau | 3 | 1.2 | |
| Historial | 0.10 | Intervenções | NA | NA | NA | NA | 0.35 |
| | | Queda de Blocos | 0.25 | Sim - Relativamente Ativa | 4 | 1.0 | |
| | | Deslizamento Planar | 0.25 | Sim - Alguma | 3 | 0.8 | |
| | | Rotura por Cunha | 0.25 | Sim - Relativamente Ativa | 4 | 1.0 | |
| | | Diretriz Circular | 0.25 | Sim - Alguma | 3 | 0.8 | |
| Imediações | 0.12 | Sobrecargas | 0.60 | Não | 1 | 0.6 | 0.12 |
| | | Vibrações nas Proximidades | 0.40 | Não | 1 | 0.4 | |
| Revestimento | 0.12 | Existência de Cobertura Vegetal | 1 | Pontual | 4 | 4.0 | 0.48 |
| | | Proteção Superficial | NA | NA | NA | NA | |
| Índice de Qualidade (I) | | | | | | | 2.951 |
| *NA - Não Aplicável | | | | | | | |

Quadro 4.5 - Aplicação da metodologia de cálculo do índice de qualidade para a Praia das Furnas

4.2.5 Praia da Zambujeira do Mar

Dado que Brissos (2013) realizou a análise geológica e geotécnica de pormenor relativa à Praia da Zambujeira do Mar, praia urbana, com o intuito de efetuar uma divisão das arribas da praia segundo a BGD, para o estudo em questão unicamente se considerou o uso da aplicação *RockPath* com o objetivo de obter uma avaliação das áreas de propagação de queda de blocos.

As arribas da Praia da Zambujeira do Mar representam situações de perigosidade muito elevada fundamentadas pela heterogeneidade litológica e elevado grau de fracturação e meteorização do maciço rochoso que possibilitam, através do destaque de blocos postos em evidência por erosão diferencial, condições propícias à ocorrência de diversas e frequentes situações de instabilidade (Brissos, *op cit*). Esta praia urbana goza de excelentes acessibilidades, apresentando elevada afluência de utentes na época balnear. Durante a preia-mar, a reduzida exposição de areal na zona norte, promove a ocupação de espaços na proximidade da base das arribas, justificando o elevado dano potencial associado à ocorrência de instabilizações.

No estudo geomecânico das arribas da Praia da Zambujeira do Mar, foram definidas seis zonas geomecânicas bem diferenciadas – ZG1 a ZG6 (descritas em Brissos, 2013 e Brissos et al., 2014). Na Figura 4.142 apenas se encontram evidenciadas as zonas geomecânicas 1, 3, 4 e 5 correspondentes às identificadas nas arribas N e E, devido a uma maior predominância de zonas fortemente meteorizadas, fraturadas e sujeitas a diferentes mecanismos de rotura nestas arribas (Brissos et al., 2014).

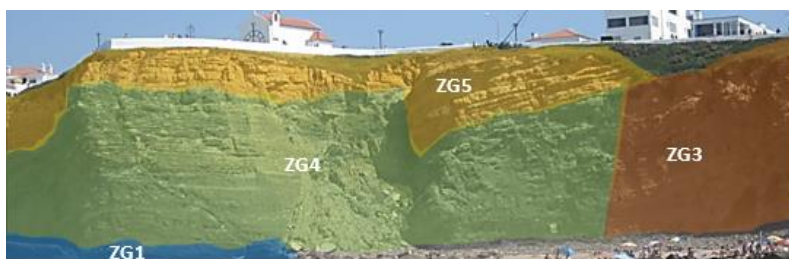


Figura 4.142 - Zonamento geomecânico nas arribas N e E da Praia da Zambujeira do Mar (Brissos et al., 2014)

5 PREVISÃO DE TRAJECTÓRIAS DE QUEDA DE BLOCOS NAS PRAIAS URBANAS DE SESIMBRA E ZAMBUJEIRA DO MAR COM RECURSO AO SOFTWARE ROCKPATH

Para a avaliação de risco, designadamente quanto a quedas de blocos, foram estimadas zonas potenciais de propagação seguindo duas abordagens complementares, com a finalidade de obter uma correta previsão das áreas afetadas, cuja ação se revela prioritária.

A primeira abordagem consiste no inventário de blocos caídos identificados na base da arriba, com o principal objetivo de validar o ângulo ϕ_p através de um estudo de retro análise fundamentado pelas instabilizações prévias, com recurso ao uso do *software RockPath*.

Este estudo, numa primeira fase, debruçou-se sobre a previsão do local de onde poderão ser originários os blocos identificados e, numa segunda fase, através da variação do ângulo ϕ_p , demonstrar e comprovar qual o ângulo aproximado sob o qual o movimento de queda ocorreu tendo em consideração a sua atual localização na base da arriba.

Deste modo, foi elaborado um estudo de reconhecimento causa-evento e consequente avaliação do risco para a Praia da Califórnia (Sesimbra) e para a Praia da Zambujeira do Mar.

Na Praia da Califórnia, os blocos considerados encontram-se em duas zonas geotécnicas distintas (Quadro 5.1), sendo que a possível altura a que se deu o destaque difere em ambos, assim como a grandeza e forma dos mesmos. As simulações efetuadas possibilitam a visualização da área suscetível de ser afetada por quedas de blocos em função da cota do terreno (MDT) considerando apenas perda de energia por atrito simples. O bloco 1 (Figura 5.1), pertencente à ZG2, possivelmente proveniente do meio ou da crista da arriba, local onde a construção de um edifício e das respectivas fundações poderão ter criado alterações nos regimes de pressões hidrostáticas e geostáticas do maciço. Igualmente, a instalação de sistemas de rega automática, como necessidade paisagística, tem um papel relevante na instabilidade do maciço. O aumento da carga sobre as unidades da base do talude, pode originar movimentos de blocos consideravelmente maiores que o bloco que se encontra atualmente na base. De mencionar que a introdução de forma não natural de água (por rega) no topo da arriba proporciona o arrastamento de finos, com consequentes fenómenos de piping e de lavagem e alargamento de fraturas.

Quanto ao bloco 2 (Figura 5.2), pertencente à ZG3, é considerado de grande dimensão com um volume original estimado em cerca de 450 m³, equivalente a cerca de 1215 ton. O movimento de um bloco desta dimensão define-se como um episódio com baixa probabilidade de ocorrência, no entanto, encontra-se associado a magnitudes de ordem de grandeza máximas para o local em causa sendo justificado o seu estudo posterior através de retro-análise.

| Coordenadas do bloco 1 na base da arriba | | | Possíveis coordenadas do bloco 1 aquando da sua queda | | |
|--|-------------|------|---|-------------|------|
| X (m) | Y (m) | Cota | X (m) | Y (m) | Cota |
| -83816.137 | -135777.566 | 5 | -83810.959 | -135763.589 | 18 |

| Coordenadas do bloco 2 na base da arriba | | | Possíveis coordenadas do bloco 2 aquando da sua queda | | |
|--|-------------|------|---|-------------|------|
| X (m) | Y (m) | Cota | X (m) | Y (m) | Cota |
| -83600.705 | -135878.182 | 15 | -83543.026 | -135818.386 | 62.4 |

Quadro 5.1 - Coordenadas dos blocos para o estudo por retro-análise na Praia da Califórnia



Figura 5.1 - Referência quanto ao local do bloco 1, Praia da Califórnia

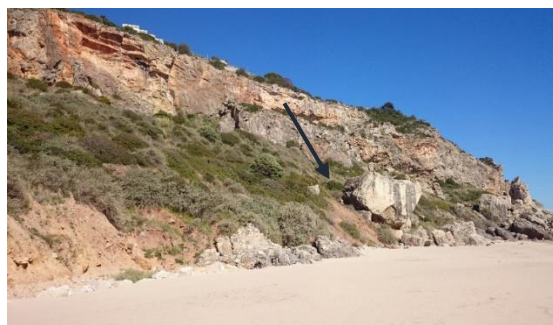


Figura 5.2 - Referência quanto ao local do bloco 2, Praia da Califórnia

A simulação na Praia da Zambujeira do Mar consiste na estimação do cone de detritos que se observa na arriba N (Figura 5.3).



Figura 5.3 - Cone de detritos na arriba N da Praia da Zambujeira do Mar

Tendo em conta um intervalo de ângulos de atrito aparente entre 22° e 37° , referido (por inúmeros autores como sendo propício a queda de blocos, através de uma interpolação por tentativa em erro foram considerados primeiramente ângulos nesta ordem de valores de modo a simular a queda de cada bloco.

O intervalo de ângulos revelou uma área passível de ser atingida pela queda dos blocos superior à que, na realidade, se observa, visto ultrapassar, em vários metros, as coordenadas de localização dos blocos. A área de cobertura, para um ângulo máximo do intervalo (37°), apresentou, como referido, um resultado excessivo quanto à sua extensão, tendo em conta o conhecimento atual da localização dos blocos (Figura 5.4 e Figura 5.5).

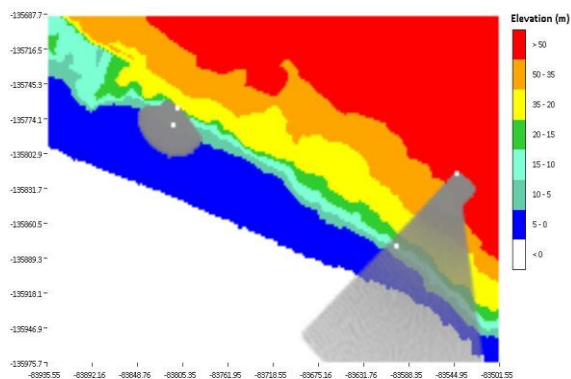


Figura 5.4 – Retro-análise para os blocos 1 e 2 (37°), Praia da Califórnia

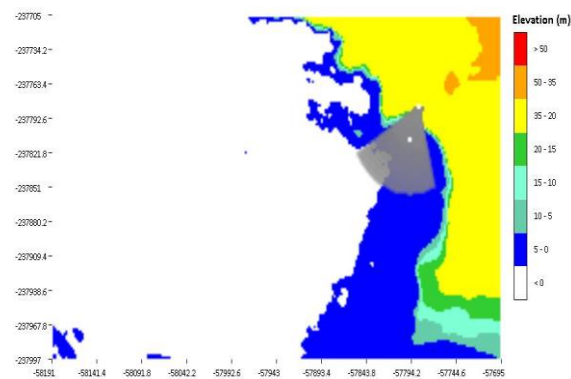


Figura 5.5 - Retro-análise para o cone de detritos (37°), Praia da Zambujeira do Mar

Deste modo é de referir que se recorreu a uma simulação com um ângulo maior (50°), com o intuito de obter uma área de cobertura sensivelmente menor, que melhor permitisse simular a trajetória efetuada pelos blocos, de maneira a estes atingirem os respetivos pontos correspondentes na base da arriba (Figura 5.6 e Figura 5.7). A existência de uma plataforma de reduzido pendor, coberta de vegetação, na ZG4 da Praia da Califórnia, que modela o talude na base da crista dolomítica, poderá ter tido um efeito atenuador do percurso do bloco resultando num movimento de deslizamento ao longo da encosta sobre os materiais de menor resistência, não se verificando uma deslocação por queda livre, nem por meio de rolamento ou ressalto, comprovando assim o facto de um ângulo de atrito aparente maior, representar com maior fidelidade o percurso real do bloco.

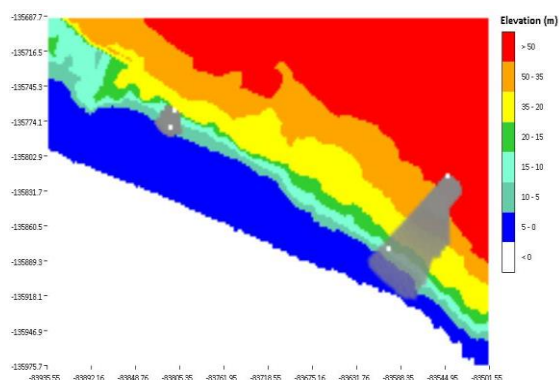


Figura 5.6 - Retro-análise para os blocos 1 e 2 (50°), Praia da Califórnia

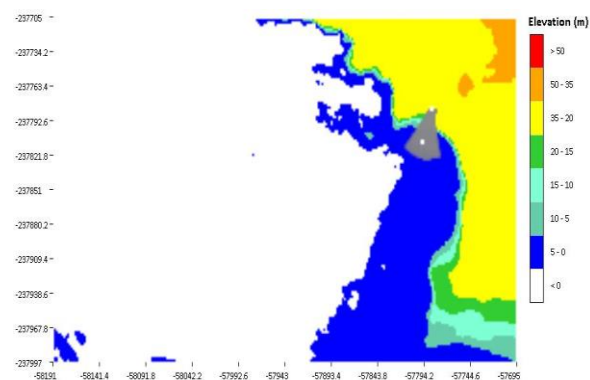


Figura 5.7 - Retro-análise para o cone de detritos (50°), Praia da Zambujeira do Mar

A segunda abordagem diz respeito à análise de cenários. A combinação de causas e ocorrências relacionadas entre si podem dar origem a cenários com diferentes resultados, ou seja, vários resultados alusivos ao evento perigoso. Este estudo pode ser expresso num cenário considerado mais conservativo e outro menos conservativo relativamente à possibilidade e ao modo como sucedem as quedas de blocos, tendo sido, deste modo, elaborado um estudo de reconhecimento dos perigos e avaliação do risco, com base em dados concretos (levantamentos geotécnicos e análises de estabilidade) permitindo uma melhor caracterização de zonas potenciais de propagação através da existência de cenários.

A partir dos ângulos de atrito definidos na primeira abordagem, constatou-se que estes são superiores aos definidos teoricamente, significando que os blocos sobre os quais o estudo foi efetuado não se deslocaram segundo a pior perspetiva, no entanto, a possibilidade de existirem cenários considerados piores do ponto de vista da análise de risco, deve ser tida em consideração. Logo, o cenário mais pessimista, no qual são avaliadas as zonas potencialmente mais instáveis, apresenta ângulos entre os 22° e 37° (intervalo teórico), sendo considerado conservativo. Um cenário menos conservativo (podendo ser considerado como mais consentâneo com a realidade), no entanto, requer uma análise que permite descrever as interações entre as ocorrências passadas e futuras com base em ângulos maiores (40°-50°).

No que respeita à identificação das possíveis fontes de instabilidade nos taludes da Praia da Califórnia foram consideradas mais prementes as referentes às ZG1, ZG2 e ZG4 (nível superior). Já para a Praia da Zambujeira as arribas N e E são consideradas como apresentando um maior risco. A dinâmica dos potenciais eventos perigosos para os ângulos 37°, 45° e 50° encontra-se estimada, respetivamente, nas Figura 5.8, Figura 5.9 e Figura 5.10 para a Praia da Califórnia e nas, Figura 5.11, Figura 5.12 e Figura 5.13 para a Praia da Zambujeira do Mar.

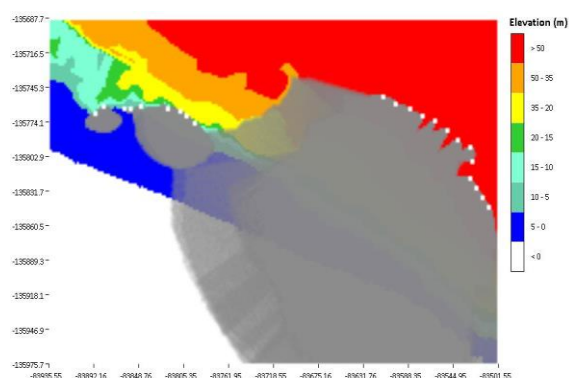


Figura 5.8- Estimação segundo o ângulo de 37° (cenário pessimista), Praia da Califórnia

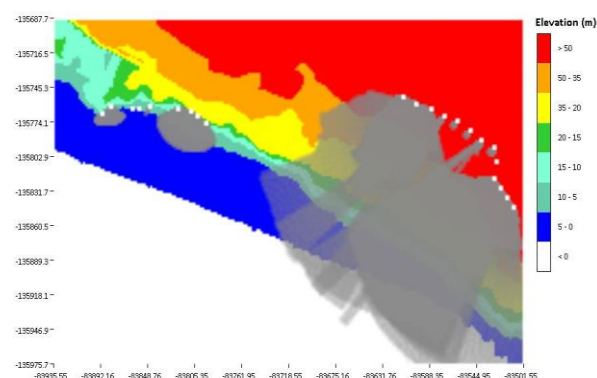


Figura 5.9 - Estimação segundo o ângulo de 45° (cenário realista), Praia da Califórnia

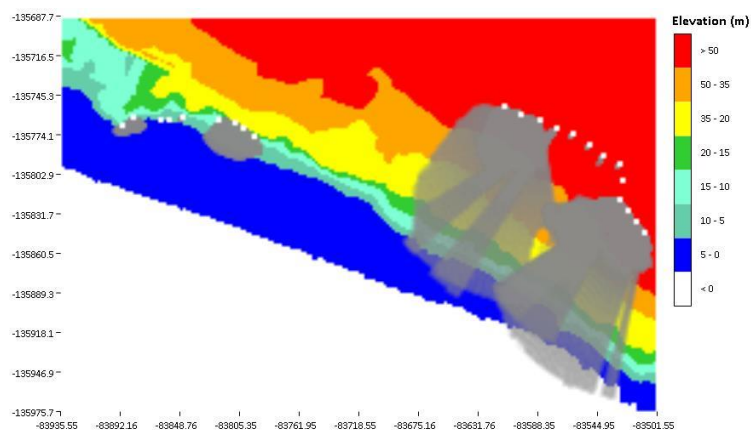


Figura 5.10 - Estimação segundo o ângulo de 50° (cenário realista), Praia da Califórnia

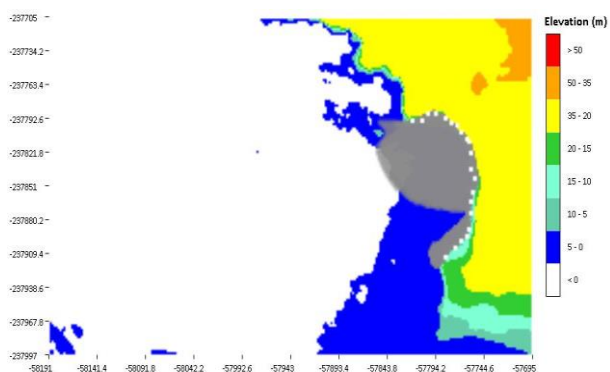


Figura 5.11 - Estimação segundo o ângulo de 37° (cenário pessimista), Praia da Zambujeira do Mar

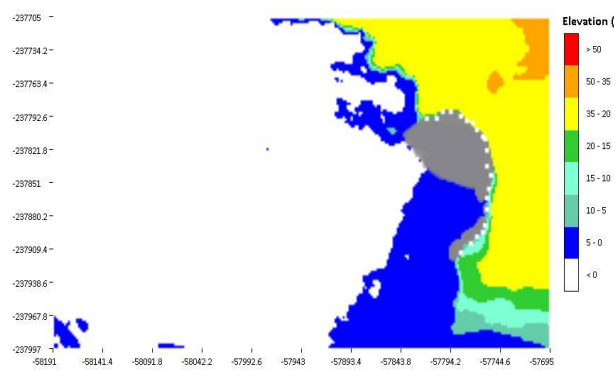


Figura 5.12 - Estimação segundo o ângulo de 45° (cenário realista), Praia da Zambujeira do Mar

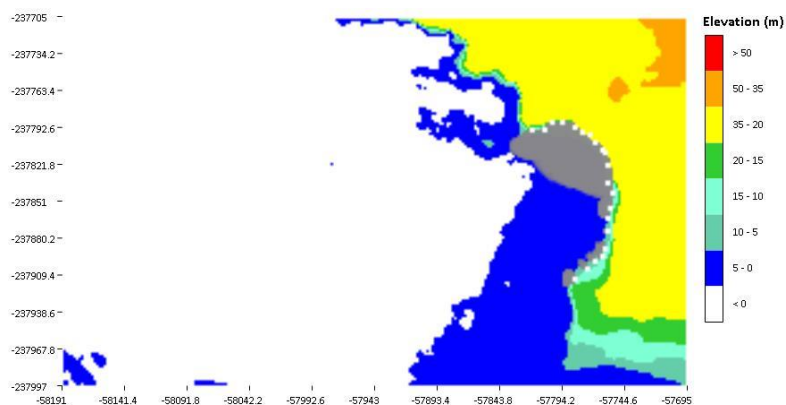


Figura 5.13 - Estimação segundo o ângulo de 50° (cenário realista), Praia da Zambujeira do Mar

Os resultados das simulações prévias demonstram um aumento da área potencial de risco para o cenário com ângulos menores, e uma redução da mesma num cenário mais realista em que os ângulos rondam os 40° a 50°, facto justificado como sendo uma consequência directa da aplicação de modelos de atrito simples.. Riscos considerados não toleráveis, como os apresentados nas simulações relativas aos cenários mais conservativos, não podem ser tacitamente tidos em conta pelo facto de em praias urbanas tal poder resultar na interdição imediata da praia, facto este que resulta numa perda a nível económico e social para as populações de Sesimbra e da Zambujeira do Mar.

Desta forma, as simulações efetuadas possibilitam a visualização da área suscetível de ser afetada por quedas de blocos, método que se revela útil no reforço quanto à necessidade de medidas de mitigação estrutural. Nestes casos, as propostas de mitigação do risco de instabilidade para as arribas em causa, devem revelar medidas a ser tomadas num curto espaço temporal.

No capítulo anexos apresentam-se definidas algumas propriedades dos blocos em estudo, como a velocidade e energia cinética translacionais, assim como a trajetória dos blocos segundo um percurso ou fluxo sobreposto às áreas de propagação obtidas pelo método do cone representadas nas simulações anteriores.

6 PROPOSTAS DE SOLUÇÕES DE ENGENHARIA PARA TRABALHOS DE ESTABILIZAÇÃO DAS ARRIBAS

Contanto que as barreiras naturais existentes não serão capazes de impedir a ocorrência dos eventos perigosos, devem ser sugeridas medidas complementares para limitar ou reduzir as consequências do evento perigoso e, deste modo, garantir o seu controlo. O estudo geomecânico, reforçado com a determinação de possíveis movimentos e correspondentes trajetórias de queda permitiu propor soluções de engenharia adequadas para cada caso, reduzindo, assim os custos gastos em obras de remediação.

Os métodos de prevenção e controlo quanto a eventuais instabilizações de blocos pode segundo Wyllie (1991) (*in* Brissos, 2013) ser dividida em duas categorias, consoante envolvam a estabilização do talude em si ou a proteção contra potenciais zonas de risco de queda de blocos.

As medidas de estabilização podem ser subdivididas em técnicas que compreendem a estabilização da encosta da arriba, assim como, pregagens, ancoragens e betão projetado, incluindo medidas de saneamento e desmonte dos blocos em zonas instáveis. As medidas de proteção englobam dispositivos como redes metálicas e construção de barreiras de retenção.

As medidas referidas podem incorporar cerca de quinze técnicas diferentes, para a aplicação destas mesmas as condições dos locais devem ser primorosamente estudadas de modo a inferir qual a medida mais adequada para cada situação. Sendo premente o conhecimento relativo às características geológicas e geotécnicas do maciço rochoso, nomeadamente a resistência do tipo de rocha em estudo e as condições estruturais do maciço, as condições morfológicas das arribas, como o seu perfil e altura, são um dado fundamental visto poderem dificultar o acesso à zona da frente da arriba.

Ao nível técnico e logístico, a disponibilidade de equipamento para os trabalhos, e a proteção e salvaguarda dos trabalhadores envolvidos e dos frequentadores das praias, quer durante a preamar quer na baixa-mar, podem-se revelar impedimentos na escolha de possíveis soluções. Não obstante, financeiramente o custo das intervenções pode-se revelar como um obstáculo no apuramento das medidas, assim como, a relevância e destaque paisagístico e ambiental das arribas dos locais afetados.

Preconiza-se a adoção de medidas de mitigação não estrutural, para a estabilização de arribas, em primeiro lugar pelo facto de estas demonstrarem um baixo custo de intervenção e um procedimento mais elementar. Quanto à mitigação estrutural, as medidas de correção por serem mais localizadas poderão complementar as anteriores. Já as medidas de reforço, pelo seu valor económico e dificuldade técnica devem ser empregues só em último grau, e dependentes de uma avaliação de pormenor e de um projeto de execução apropriado. Tais como as medidas referidas no presente estudo, com auxílio de cartografia topográfica de grande escala.

As recomendações baseadas no estudo geológico-geotécnico para as praias em estudo são apresentadas no Quadro 6.1.

Na Praia da Califórnia (Figura 6.1), os desmontes controlados referem-se à área 1, correspondente à ZG1 e ZG2. As redes metálicas como medida de contenção são dimensionados para os blocos de menor volume ao longo da crista dolomítica (ZG4). A monitorização do desenvolvimento das fraturas, assim como de eventuais movimentações de blocos deve ser efetuada na zona da crista dolomítica (ZG4).



Figura 6.1 - Crista dolomítica, na área 2, Praia da Califórnia

Deve ser limitado o acesso à crista da arriba em toda a praia, tanto na área definida como 1, como na área 2. Na primeira, a parcela a descoberto da zona da crista, ou seja que não se encontra edificada, presta serviços de jardinagem e miradouro às concessões que aí se encontram. Quanto à área 2, visto esta ser acessível através de um percurso contíguo com o edifício, situado a NE, assim como a partir da estrada de Argéis no decurso da prática de desportos radicais, como salto em parapente, devendo este acesso ser diminuto ou mesmo restringido.

A incrementação da sinalização de perigo apropriada deve ser colocada na base das arribas, e deve ser efetuada uma reposição da já existente junto à ZG2 na área 1.

Na Praia do Serro da Águia, as arribas N e E devem ser submetidas a desmontes controlados. A arriba Norte necessitará de redes metálicas ou barreiras de retenção como medidas de proteção. A drenagem é feita ao nível das valetas de crista. Dever ser realizada uma monitorização das fendas referentes à crista da arriba Sul (Figura 6.2).



Figura 6.2 - Potencial situação de tombamento de alguns blocos destacados por fendas, na Praia do Serro da Águia

Assim como, a sinalização nesta praia deve ser criada ao longo da crista e da base, o acesso à base das arribas deve ser restrito, principalmente junto à arriba Sul.

Na Praia Grande, as arribas N e E devem sofrer um saneamento generalizado, assim como desmontes controlados nas zonas de potenciais tombamentos e escorregamentos planares (arriba N). É conveniente o uso de medidas de reforço na zona do café/bar que se encontra encimado por blocos em destaque. As medidas de proteção a usar são direcionadas para a arriba N, na zona da estação N2 contígua com o sinforma, e para a arriba. A drenagem deverá ser efetuada em valetas de crista na arriba N e S. A base das arribas N e E carecerá de uma restrição ao seu acesso, que poderá ser concebido por meio de um incremento da sinalização de perigo na crista e base ou até mesmo no areal, com visibilidade para os utilizadores da praia.

Na Praia dos Buizinhos deverão ser efetuados desmontes moderados na arriba N, junto à escadaria de acesso à praia, e no local onde se destacam blocos sem proteção basal, e na arriba S, no sentido do mar, pela mesma razão referida para a arriba N. A escada de acesso requer o uso de redes metálicas como medida de proteção. É necessária a implementação de sinalização quanto ao perigo na crista e base das arribas.

Por fim, a Praia das Furnas é proposto um saneamento geral ao longo da arriba SE, com pregagens esporádicas em zonas de ocorrência de possíveis tombamentos (junto à estação S2). O uso de medidas de proteção poderá ser empregue em zonas com material meteorizado e cobertura prévia de material instabilizado na base, e em locais sujeitos a escorregamentos por meio das superfícies de estratificação (a Sul de S2). Deverá existir uma limitação quanto à aproximação da zona da base das arribas, mais concretamente em zonas afetadas por subscavação.

| | | Mitigação Estrutural | | | Mitigação Não Estrutural | Drenagem | |
|----------------------------|----------------|--------------------------|---------|--|--------------------------|--|--|
| | | Medidas de Estabilização | | Medidas de Proteção | | | |
| | | Correção | Reforço | | | | |
| | | Saneamento geral ⊗ | | Pregagens pontuais aliadas a redes de cabos e malhas de aço ⊗ | | Redes metálicas ⊗ | |
| Desmontes controlados ⊗ | | Betão projetado ⊗ | | Barreiras de retenção ⊗ | | Monitorização do movimento dos blocos ⊗ | |
| | | | | | | Restrição de acesso ⊗ | |
| | | | | | | Incremento da sinalização de perigo ⊗ | |
| | | | | | | Criação de sinalização de perigo ⊗ | |
| | | | | | | Reposição da sinalização de perigo ⊗ | |
| Praias | Califórnia | ⊗ | - | ⊗ | ⊗ | ⊗ | |
| | | | | | ⊗ | | |
| | | | | | ⊗ | | |
| | | ⊗ | - | - | ⊗ | | |
| | | | | | - | | |
| | | | | | ⊗ | | |
| | Serro da Águia | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | |
| | | | | | - | | |
| | | | | | ⊗ | | |
| | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | - | | |
| | | | | | ⊗ | | |
| | | | | | - | | |
| | Grande | ⊗ | ⊗ | ⊗ | - | ⊗ | |
| | | | | | ⊗ | | |
| | | | | | ⊗ | | |
| | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | | |
| | | | | | - | | |
| | | | | | ⊗ | | |
| | Buizinhos | ⊗ | - | ⊗ | ⊗ | ⊗ | |
| | | | | | ⊗ | | |
| | | | | | - | | |
| | | ⊗ | - | - | - | | |
| | | | | | ⊗ | | |
| | | | | | - | | |
| | Furnas | ⊗ | - | ⊗ | - | ⊗ | |
| | | | | | ⊗ | | |
| | | | | | ⊗ | | |
| | | - | - | - | - | | |
| | | | | | ⊗ | | |
| | | | | | - | | |

Quadro 6.1 – Quadro resumo de proposta de mitigação do risco de instabilidade das arribas das praias em estudo

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O que é o homem na natureza? Um nada em relação ao infinito, um tudo em relação ao nada, um ponto a meio entre nada e tudo.

Blaise Pascal

É óbvio que a ocupação urbana por detrás da crista dos taludes, assim como no seu sopé, tem vindo a aumentar de uma forma acelerada. As arribas em estudo não se encontram numa fase estacionária, antes pelo contrário, as suas vertentes sofrem alterações geomorfológicas perceptíveis à escala humana. São exemplo os escorregamentos, as quedas de blocos, os tombamentos, entre outras manifestações físicas, que não se desencadeiam apenas devido a causas naturais, mas também como consequências de atividade antrópica.

Segundo Crozier (1986) (*in* Lamas, 2012), a instabilidade manifesta-se em condições muito específicas, de curta duração em termos geológicos, nas quais os taludes tendem a sofrer reduções no seu peso, altura e declive como consequência de alterações das condições geológicas ou ambientais. Deste modo, é possível concluir que a evolução dos taludes pode ser afetada por diversos mecanismos, considerados mecanismos de instabilidade. É sabido que estes podem ser de origem geológica, climática (temperatura, vento e precipitação), tectónica (devido ao levantamento da crosta que possibilita o encaixe dos vales por escavação originando uma aceleração na evolução das vertentes adjacentes) ou sísmica (devido a vibrações que aumentam as tensões intersticiais e consequentemente diminuem a resistência ao corte dos terrenos).

Tem vindo a verificar-se um maior envolvimento, a nível nacional, com a proteção e valorização dos recursos presentes no litoral através dos POOC, nomeadamente ao nível da coordenação regional. Revela-se de extrema importância a colaboração conjunta de várias entidades, no sentido de um melhor esclarecimento nesta matéria. O estudo realizado, com a execução deste trabalho, poderá eventualmente servir como um instrumento de apoio aos POOC's já existentes, assim como a eventuais planos ou programas futuros.

É importante referir que a metodologia utilizada para avaliação dos percursos de queda de blocos instabilizados, permite aferir áreas potenciais de propagação e distâncias de *runout*, sem assumir outras perdas energéticas, o que resulta numa modelação do lado da segurança (Brissos et al., 2015).

Finalmente, é necessário refletir que, para prever a evolução do risco associado a instabilidade de arribas, é importante ter em atenção que as intervenções ao longo da crista e base das arribas podem ter um papel significativo ao nível das condições de estabilidade, interferindo com a segurança de pessoas, habitações e infraestruturas que se encontrem próximo de zonas instáveis.

De modo consequente, a gestão dos riscos inerentes à evolução das zonas costeiras será uma questão de ainda maior importância num futuro cada vez mais próximo devido aos impactes das alterações climáticas, designadamente a subida do nível médio do mar e a modificação do regime de agitação marítima, da sobre-elevação meteorológica e da precipitação. A conclusão a tirar desta realidade, e utilizando as palavras de Tavares *et al.* (2004), é a de que “*não se pode continuar a planear o litoral de costas viradas para os conhecimentos que a Ciência já está apta a fornecer*”. Devem-se, sim, efetuar estudos de estabilidade nas arribas das zonas costeiras mais propensas a movimentações, com o intuito de identificar os mecanismos de instabilização e clarificar quanto ao risco que estas mesmas representam.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brabb, E.E. (1984). Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping. Proceedings of the 4th International Symposium on Landslides, Toronto, vol1, pp.307-324.
- Brissos, J. (2013). Avaliação de risco de instabilidade de arribas no troço Sines-Zambujeira do Mar (SW Alentejano). Dissertação Mestrado Engenharia Geológica, FCT-UNL, Monte da Caparica, 159p.
- Brissos, J., Lamas, P. e Sá Caetano, P. (2014). Estabilidade e zonamento geomecânico das arribas da Praia da Zambujeira do Mar em contexto da análise de risco. *Actas do XIV Congresso Nacional de Geotecnia, Covilhã, Portugal*, 12 p.
- Brissos, J., Sanches, A., Caetano, P. S. (2015). RockPath v. 1.0. Proposta de aplicação informática para estimação de zonas de propagação de quedas de blocos em contexto de análise de risco. GeoBioTec, Polo da NOVA, 25 p. (não publicado).
- British Geological Survey. ("How does BGS classify landslides?"). Disponível em www.bgs.ac.uk/landslides/how_does_BGS_classify_landslides.html. Consultado a 24 de Fevereiro de 2016.
- Bromhead, 1992. The Stability of Slopes. CRC Press, 2nd Ed., 424 p. Budetta, P. (2004). Assessment of rockfall risk along roads. Natural Hazards and Earth System Science, Vol. 4, pp. 71–81.
- Câmara Municipal de Sesimbra. Disponível em www.cm-sesimbra.pt. Consultado a 22 de Março de 2016.
- Catalão, J., Catita, C., Miranda, J., Dias, J. (2002). Photogrammetric analysis of the coastal erosion in Algarve (Portugal). *Geomorphologie*, n.º2, pp. 119-126.
- Climate-Data. Dados climáticos para cidades mundiais. Disponível em www.pt.climate-data.org. Consultado a 24 de Março de 2016.
- Costa, C., Sá Caetano, P., Brito, G., Vendas, D. (2009) Estudo preliminar do risco associado à instabilidade de arribas no troço entre Cabo Espichel e Setúbal. Universidade Nova de Lisboa. Monte da Caparica.
- Costa, C. & Sá Caetano, P. (coord.) (2010). Estabilidade e trabalhos de estabilização de arribas de praia na região de Sesimbra e do litoral Alentejano. Relatório Técnico para ARH-Alentejo, 28 p (não publicado).
- Costa, F. M (2012). Instabilidade em arribas costeiras. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Hidráulica, FEUP, Porto, 98p.
- Crozier, M.J. (1995). Landslide hazard assessment: a review of papers submitted to theme G4. Bell DH (Ed.) Proceedings of the sixth International Symposium, 10-14 February 1992.
- Cruces, A., Lopes, I., Freitas, M.C., Andrade, C. (2002). A Geologia no Litoral Parte II: Da Lagoa de Albufeira a Setúbal. Geologia de Verão, Guia de Excursão. Agência Ciência Viva, Departamento de Geologia – Centro de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 82/2009 de 8 de Setembro. Diário da República 1ª série – nº174. A. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Lisboa.
- Decreto-Lei nº 86/2003 de 25 de Junho de 2003. Diário da República nº144 – I Série-B. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Lisboa.
- Faculdade de Engenharia/Universidade do Porto. (n.d.). Propriedades dos Minerais e Rochas. Porto.

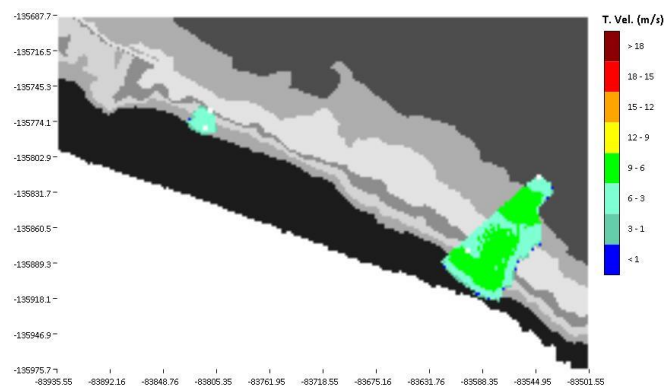
- Feio, M. (1952). A evolução do relevo do Baixo Alentejo e Algarve: Estudo da geomorfologia. Instituto para a alta cultura, Centro de estudos geográficos. Lisboa.
- Foucault, Alain. Ana Maria Novais. *O Clima: História e devir do meio terrestre*. Sob a direção de António Oliveira Cruz. Lisboa: Perspectivas ecológicas – Edições Piaget, 1996.
- Glade, Thomas; Anderson, Malcolm; Crozier, Michael J. *Landslide Hazard and Risk*. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2005.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M. Galli, M.. (2005). Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale, *Geomorphology*, pp.272-299.
- Guzzetti, F., Galli, M., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M. (2006). Landslide hazard assessment in the collazzone area, Umbria, Central Italy. *Natural Hazards and Earth System Science*, pp. 15-131.
- Hoek, E., Bray, J. (1981). *Rock Slope Engineering*, Revised Third Edition. Institution of Mining and Metallurgy, Taylor & Francis.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstracts*. (1981) p. 3-52.
- Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Disponível em www.icnf.pt/portal/ap/p-mat/pnsacv/hist-cult. Consultado a 20 de Março de 2016.
- Jaboyedoff, M., Labiouse, V. (2003). Preliminary assessment of rockfall hazard based on GIS data. *ISRM 2003 –Technology roadmap for rock mechanics*, South African Institute of Mining and Metallurgy, pp. 575-578.
- Lamas, P. (1998). Os Taludes da Margem Sul do Tejo. Evolução Geomorfológica e mecanismos de rotura. Dissertação de Doutoramento em Geotecnia, especialidade em Geologia de Engenharia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. p.379.
- Lamas, P. (2012). Movimentos de terrenos e estabilidade de taludes -Parte A.
- Marinos, P. & Hoek, E. (2001). Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as Flysch. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 60:85-92.
- Marinos, V.; Marinos, P. & Hoek, E. (2005), The Geological Strength Index: Applications and Limitations, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 64: 55-65.
- Marques, F. (1997). As Arribas do Litoral do Algarve – Dinâmica, Processos e Mecanismos. Texto não publicado. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Marques, F. M., Andrade, C. (2009) Parecer sobre o risco associado às arribas do Algarve. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa para a Administração da Região Hidrográfica do Algarve. Faro, Portugal.
- Marques, F., Romariz, C. (1991). Nota preliminar sobre a evolução das Arribas Litorais. 4º Congresso Nacional de Geotecnia, LNEC. Lisboa.
- Meneses, B. (2011). Susceptibilidade e Risco de Movimentos de Vertente no concelho de Tarouca. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território. Universidade de Lisboa. Lisboa, 115p.
- Mutasem Sh. Alkhasawneh, Umi Kalthum Bt Ngah, Tay Lea Tien and Nor Ashidi Bin Mat Isa, 2012. Landslide Susceptibility Hazard Mapping Techniques Review. *Journal of Applied Sciences*, 12: 802-808.
- Playocean. Disponível em www.playocean.net. Consultado a 2 de Fevereiro de 2016.
- Pereira, C. (2009). Estudo de Análise Demográfica - Concelho de Santiago do Cacém, para Licenciatura em Sociologia, ISLA, Lisboa.

- Pereira, S., Zêzere, J.L., Bateira, C. (2011). Avaliação da perigosidade a deslizamentos superficiais translacionais em Santa Marta de Penaguião (Vale do Douro). RISKam, Centro de Estudos Geográficos, IGOT, Universidade de Lisboa. Lisboa.
- Pinheiro, M., Sanches, S., Miranda, T., Neves, A., Tinoco, J., Ferreira, A., Correia, A. (2014). Sistema de Avaliação de Qualidade de Taludes Rochosos em Fase de Exploração. Universidade do Minho, Guimarães. Ascendi, Matosinhos.
- Polis Litoral Sudoeste, Sociedade para a requalificação e valorização do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina, S.A. Disponível em www.polislitoralsudoeste.pt. Consultado a 7 de Fevereiro de 2015.
- Ribeiro, J. (2010). Riscos Costeiros – Estratégias de prevenção, mitigação e proteção, no âmbito do planeamento de emergência e do ordenamento do território. ANPC.
- Sá Caetano, P., Brissos, J., Barbosa, S., Lamas, P., Brito, G., Fernandes, C. (2014). Avaliação geotécnica detalhada das arribas inseridas nos sectores Espichel-Sado e Sines-Odeceixe. Relatório Técnico para Egiamb, Lda. e ARH-Alentejo, 356 p (não publicado).
- Santos, M. L (2011). Determinação da componente espacial da perigosidade nas arribas do litoral algarvio (Sector Burgau-Lagos) – Influência dos fatores condicionantes na ocorrência das instabilidades. Dissertação de Mestrado em Geologia Aplicada- Especialidade de Geologia de Engenharia, Universidade de Lisboa-Faculdade de Ciências, Lisboa, 162p.
- Tavares, António Augusto; Tavares, Maria José Ferro; Cardoso, João Luís (2004). *Evolução geohistórica do litoral português e fenómenos correlativos*: Geologia, História, Arqueologia e Climatologia. Lisboa: Universidade Aberta,.
- Terzaghi, K. (1950). Mechanism of Landslides. Harvard University, Department of Engineering, 41p.
- Tomás, C. (2011). Artigo publicado na edição do jornal Expresso de 10 de Junho de 2011 (“Há 152 praias com arribas em risco”).
- Varnes D, Intern. Ass. of Eng. Geology Commission on Landslides and Other Mass Movements on Slopes (1984) *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*, UNESCO, Paris.
- Varnes D.J. (1978). Slope movement types and processes. Schuster, RL. And Krizek, RJ. Landslides - Analysis and Control, Transportation Research Board Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington D.C., pp. 11-33.
- Zêzere, J.L. (2007). Riscos e Ordenamento do Território. Inforgo, 20/21, Ordenamento Territorial, Associação Portuguesa de Geógrafos, pp. 59-63.

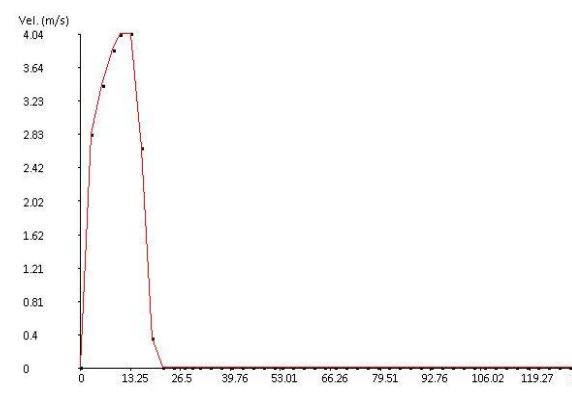
ANEXOS

ANEXO I – AVALIAÇÃO DA VELOCIDADE E ENERGIA DOS BLOCOS E DIREÇÃO DE FLUXO

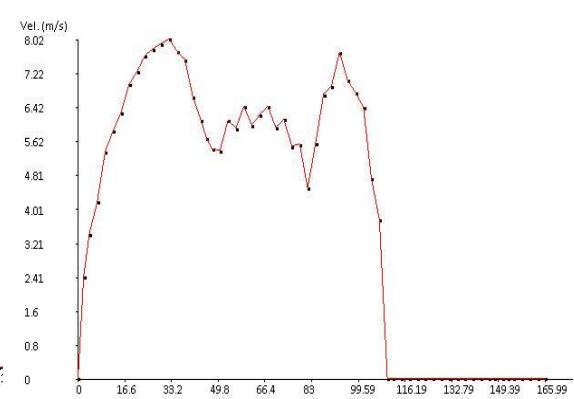
1ªAbordagem



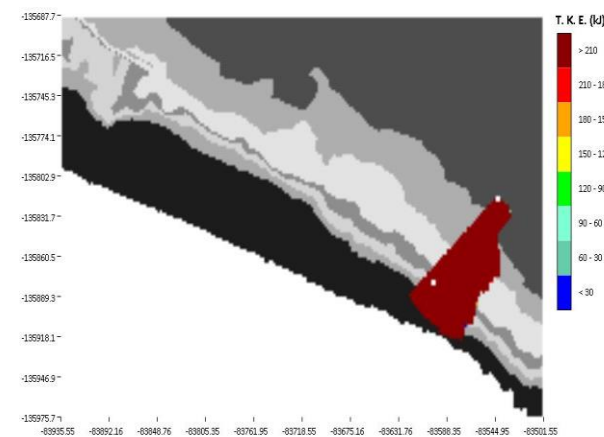
Velocidade translacional bloco 1 e 2 para um ϕ 50°



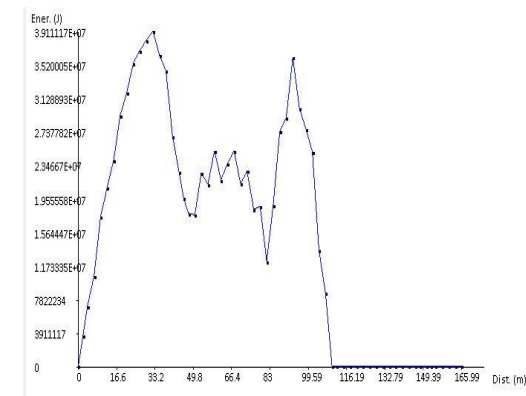
Variação da velocidade translacional bloco 1



Variação da velocidade translacional bloco 2

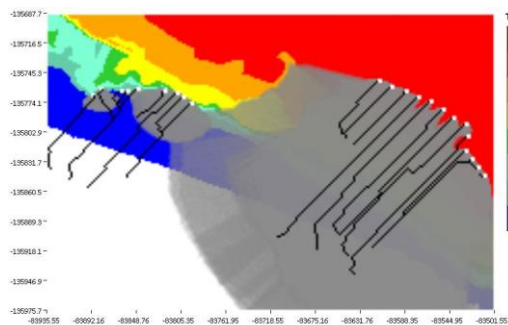


Energia cinética translacional bloco 2

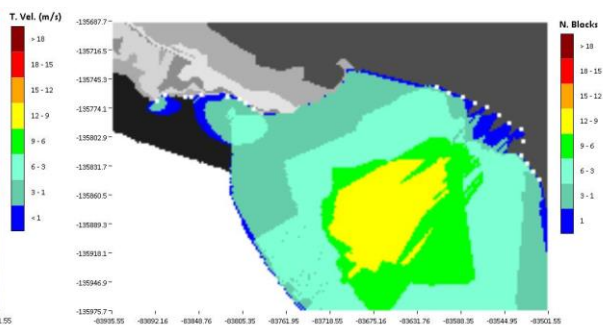


Variação da energia cinética bloco 2

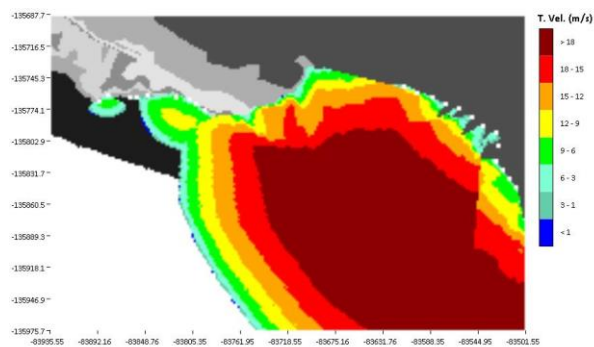
2ª Abordagem



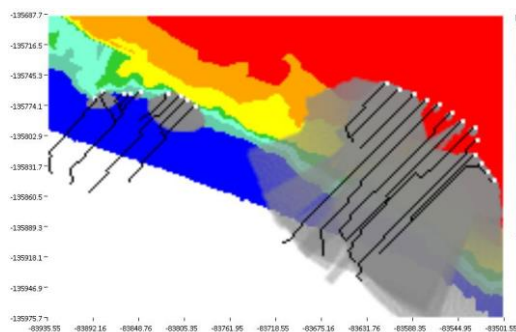
Direção de fluxo para $\phi_p 37^\circ$



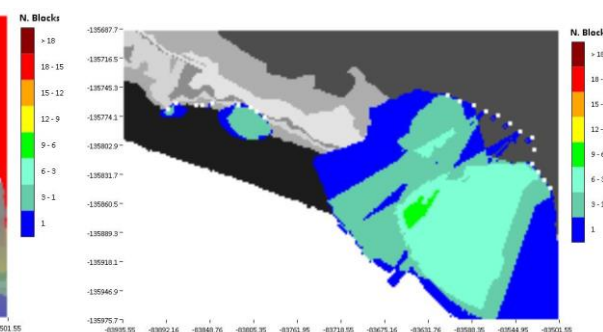
Número de ocorrências para $\phi_p 37^\circ$



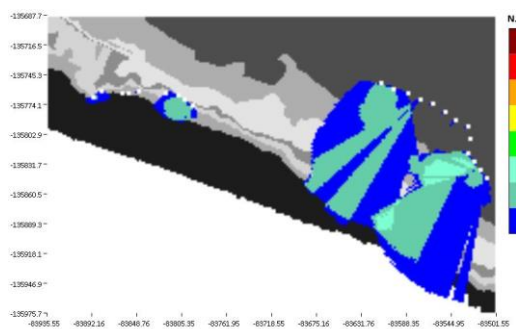
Velocidade translacional $\phi_p 37^\circ$



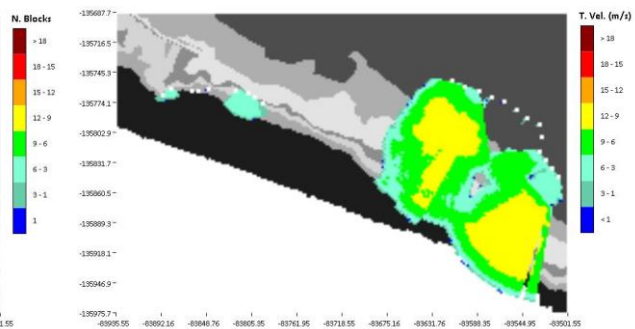
Direção de fluxo para $\phi_p 45^\circ$



Número de ocorrências para $\phi_p 45^\circ$



Número de ocorrências para $\phi_p 50^\circ$



Velocidade translacional $\phi_p 50^\circ$